



UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RIO
“Hermanos Saíz Montes de Oca”
FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

**Estrategia para aumentar la potencialidad
de secuestro de carbono en las plantaciones forestales
de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.**

Autor: Ing. Eber Pérez Ruiz.
Tutor: Dra. Marta Bonilla Vichot.

Pinar del Río, Cuba.

2011

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento:

> A mi esposa por apoyarme en el transcurso de realización de esta investigación.

> A mis padres por guiarme desde la niñez hasta poder obtener un título académico.

> Mis suegros por todo su apoyo.

> A toda mi familia por apoyarme, sustentarme y aconsejarme en los momentos más difíciles.

> A mi tutora la Dra. Marta Bonilla por toda la paciencia y dedicación que me brindó para poder llevar a cabo este trabajo.

> A la Universidad de Pinar del Río, en especial al colectivo de profesores de la maestría .

> A todos mis compañeros de maestría en especial a: Edward Luis Calzada.

> A la EFI de Cienfuegos por su colaboración.

> Al MSc. Iván Pino, MSc. Rodolfo Vega Martínez, MSc Nadia Ferrer, Lic. Carlos Serra y demás compañeros de trabajo, que sin su colaboración no podría haber realizado esta investigación.

> A los presentes.

A todos, muchas gracias.

Resumen

Esta investigación se realizó en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos, que pertenece a la provincia de Cienfuegos, Cuba. Con el propósito de formular una estrategia para aumentar la potencialidad de absorción de carbono en las plantaciones forestales. Para estimar el carbono retenido en las plantaciones se parte de metodologías existentes, citadas por diferentes autores. A partir del volumen en pie se estimó el carbono retenido en la biomasa por medio de la densidad seca al aire de la madera de las especies componentes de las plantaciones y de un factor de expansión de biomasa, con la superficie de la masa forestal y el carbono promedio retenido en el primer metro de los suelos de los bosques tropicales, se calculó el carbono almacenado en los suelos forestales; a estos valores se le sumó el carbono retenido en las raíces que para esta investigación es el 12.5% de la biomasa aérea. Para el cálculo del potencial de absorción de carbono se realizó una comparación de los sumideros de carbono antes y después de las actividades de la estrategia. El carbono total secuestrado en las plantaciones forestales es de 1 136 940.4 tC, que con la implementación de las medidas propuestas como son: la reforestación de sus áreas desprovista de bosque, el buen manejo de los mismos, principalmente los tratamientos silviculturales y la máxima prevención de los incendios forestales; se aumentaría el potencial de absorción para los próximos cinco años en 36 177.8 tC.

Palabras claves: Estrategia, absorción de carbono, reforestación.

Abstract

This investigation came true in the Empresa Forestal Integral Cienfuegos, that it belongs to Cienfuegos's province, Cuba. In order to formulate a strategy to increase the potentiality of absorption of carbon at forestal plantations. In order to estimate the carbon retained at plantations it breaks of existent methodologies, given an appointment for different authors. The carbon retained in the biomass by means of dry density of the wood of component sorts of plantations and of a growth factor of biomass, with the forestal mass's surface and the average carbon retained in the first meter of the grounds of tropical forests was calculate the carbon stored in forest ground; The carbon retained in the roots that the 12.5 % of the aerial biomass is for this investigation was accumulated on these moral values. For the calculation of the potential of absorption of carbon a comparison of carbon drains came true before and after the activities of strategy. The total carbon kidnapped at forest plantations comes from 1136940.4 tC, than with the implementation of measured proposals: The reforestation of the deforest areas, the good handling of this, principally the silvicultural treatments and the maximum prevention of forest fires; Would increase the potential of absorption for the next five years in 36 177.8 tC.

Key words: Strategy, absorption of carbon, reforestation.

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Cambio climático.....	5
2.1.1 Efecto invernadero.....	5
2.1.2 Efectos Potenciales del cambio climático y de la identificación del efecto invernadero.....	6
2.2 Los bosques como sumideros de carbono.....	8
2.2.1 Secuestro de carbono.....	8
2.2.2 Papel de los bosques y su relación con el efecto de invernadero.....	8
2.2.3 El rol de los bosques como sumideros de carbono.....	9
2.3 Estudios sobre el carbono en los árboles.....	10
2.3.1 El Carbono en la biomasa aérea.....	10
2.3.2 Carbono en el suelo.....	11
2.3.3 Influencia de los humanos sobre el ciclo del carbono.....	12
2.3.4 Carbono en otros componentes del bosque.....	13
2.3.5 Carbono total y su distribución entre los componentes.....	13
2.3.6 Tasas de fijación de carbono en la vegetación.....	14
2.4 Ordenación forestal y la fijación de carbono.....	15
2.5 Servicios ambientales del bosque.....	16
2.5.1 Pagos por servicios ambientales del bosque.....	17
2.6 Cuba y el cambio climático.....	20
2.6.1 Estrategia de mitigación.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1 Característica de la Empresa forestal Integral Cienfuegos.....	23
3.1.1 Ubicación.....	23
3.1.2 Clima.....	24
3.1.3 Relieve.....	25
3.1.4 Suelo.....	25

3.1.5 Hidrología.....	25
3.1.6 Cobertura Forestal.	26
3.2 Estimación del carbono secuestrado.....	28
3.2.1 Biomasa forestal.....	28
3.2.2 Carbono en la biomasa forestal.....	29
3.2.3 Carbono retenido por las raíces.....	29
3.2.4 Carbono retenido en el suelo	29
3.3 Estimación de la línea base de retención de carbono.....	30
3.4 CO ₂ fijado por la biomasa.....	30
3.5 Proposición de la Estrategia de Mitigación	30
3.6 Cuantificación del potencial de absorción de carbono.....	30
3.6.1 CO ₂ del transporte terrestre.....	31
3.6.2 Estimación de emisiones de gases de efecto de invernadero a causa del fuego.....	32
3.5 Valoración económica..	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 La biomasa como sumidero de carbono.....	34
4.2 Carbono en el suelo.....	39
4.3 Retención total de carbono.....	41
4.3.1 Retención de carbono en las formaciones boscosas.....	41
4.3.2 Carbono retenido por las plantaciones.....	43
4.4 Proceso de fijación en los bosques.	45
4.5 Estrategia de mitigación en las plantaciones forestales establecidas en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.....	46
4.6 Carbono potencial.....	51
4.7 Valoración económica.....	52
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES.....	56
VII. BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

I. INTRODUCCIÓN

La fijación de carbono (C) mediante la actividad forestal se basa en dos premisas según Moura (2001). En primer lugar, el dióxido de carbono (CO_2) es un gas atmosférico que circula por todo el planeta y por lo tanto, las actividades dirigidas a eliminar los gases de efecto invernadero (GEI) de la atmósfera tendrán la misma eficacia tanto si se realizan cerca de la fuente de emisiones, como en el extremo opuesto del globo. En segundo lugar, las plantas absorben CO_2 de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis y la utilizan para sintetizar azúcares y otros compuestos orgánicos utilizados en el crecimiento y el metabolismo. Kyrklund (1990) sostiene que debido a que la velocidad de absorción del CO_2 es directamente proporcional al crecimiento de los árboles, preservar los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijar CO_2 . En cambio, una ordenación forestal basada en cosechar en el mejor momento, convertir la madera con un mínimo de desperdicio en productos duraderos y regenerar debidamente, permite fijar el máximo posible de C; evidentemente esta medida de aprovechamiento tiene límites, pues la utilización industrial de todos los bosques naturales no es factible desde el punto de vista de conservación del ecosistema, de la biodiversidad y del fondo genético.

De esta forma, las áreas forestales (especialmente las plantaciones) pueden manejarse con diferentes enfoques y producir varios servicios, por ejemplo; paisaje, control de clima y agua, variabilidad genética, biomasa, etc. La producción forestal es así un proceso de producción de múltiples entradas y salidas. Desde el punto de vista de la fijación de C, se asume que la producción forestal puede hacer un proceso de producción multientrada /doble salida, donde se analiza el manejo del bosque con respecto a la producción de dos servicios principales: madera y C orgánico. Este proceso de producción es acoplado, es decir, una de las salidas no puede producirse sin simultáneamente producir la otra hacia cierto nivel (Hoen y Solberg, 1994).

La fijación de C mediante la actividad forestal está en función de la acumulación y almacenamiento de biomasa. Por lo tanto cualquier actividad o práctica de ordenación que modifique la cuantía de la biomasa existente en una zona, influye en su capacidad de almacenar o fijar C. Se pueden aplicar distintas prácticas de ordenación forestal para reducir la acumulación de GEI en la atmósfera utilizando diferentes sistemas. Uno de ellos consiste en aumentar la tasa de acumulación de C, es decir la creación o aumento de **sumideros**. Este mecanismo es importante para las plantaciones forestales. Otro consiste en impedir o reducir la tasa de liberación de C ya fijado en un **depósito** de C existente (Moura, 2001).

La plantación de árboles en los procesos de forestación, reforestación, rehabilitación

de los bosques o actividades agroforestales da lugar a la fijación de C en curso de crecimiento de los árboles, es decir a la creación de nuevos sumideros. Aunque la fijación de C es frecuentemente objeto de discusión en el contexto del establecimiento de nuevos bosques, también se puede conseguir aumentando la tasa de crecimiento de los bosques existentes mediante tratamientos silvícolas como el aclareo, los tratamientos de liberación, la escarda o fertilización. Dado que los suelos almacenan grandes cantidades de C, las prácticas de ordenación que favorecen el aumento de la materia orgánica del suelo también puedan tener efectos positivos (Maura, 2001).

La importancia del sector forestal para disminuir la concentración de GEI de la atmósfera es revelada por Makundi *et al* (1999) al plantear que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) estima que la aplicación de diversas medidas en el sector forestal podría secuestrar entre 1,1 Gt C y 1,8 Gt C al año durante 50 años. Por lo tanto, la posibilidad de reducir las emisiones mediante la actividad forestal y el potencial para aumentar el secuestro de C aumenta la importancia del sector forestal y su participación en las medidas orientadas a mitigar los efectos del cambio climático según lo estipulado en el protocolo de Kyoto, el cual, según Beaumont Roveda (1999) aprobó tres mecanismos de flexibilidad para facilitar los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero: el comercio de limitaciones de emisión y obligaciones de reducción cuantificadas, la aplicación conjunta y el mecanismo para un desarrollo limpio. Otro de los resultados importantes de este acuerdo internacional fue el reconocimiento de las actividades forestales o sumideros como acciones válidas para reducir la concentración neta de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este punto se menciona en los párrafos 3 y 4 del artículo 3 del Protocolo, que se refiere a la <<forestación, reforestación, y deforestación>> y a las <<actividades humanas adicionales relacionadas con el cambio de uso de la tierra y la silvicultura>>, respectivamente.

Cuba es país firmante del Protocolo de Kyoto y por lo tanto debe cumplir con los compromisos contraídos con respecto al inventario periódico de emisiones y la formulación de estrategias de adaptación y mitigación, y con ello contribuir con la reducción de la concentración de GEI en la atmósfera. Para ello cuenta, desde el punto de vista biológico con los bosques que por realizar la fijación biológica del carbono, contribuyen al secuestro y retención del CO₂ atmosférico, funciones sobre la cual el hombre puede influir de forma positiva o negativa según el manejo a que somete a los ecosistemas.

El país fue partícipe, en el 2001, de los análisis previos de la presentación del Informe de País a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

(CMNUCC), relativos a la estimación comparativa de emisiones en 1990 y 1994, la estimación de los impactos derivados del Cambio Climático y de las medidas de adaptación y mitigación recomendadas a nivel nacional, incluyendo la valoración de las incertidumbres existentes y de las perspectivas futuras de evaluación e investigación (Álvarez, 2001).

La carencia de una estrategia de mitigación adecuada a las peculiaridades específicas de cada empresa forestal (EFI) del país dificulta que el sector forestal pueda formular la Estrategia Forestal de Mitigación y contribuir con ello a la Estrategia Nacional de Mitigación del Cambio Climático por el país, en cumplimiento de los compromisos asumidos con el CMNUCC.

La ausencia de una experiencia nacional previa sobre la formulación de tales estrategias hace aconsejable que tal trabajo no se acometa de forma masiva y simultánea en todas las EFI del país sino que, por el contrario, se ejecuten inicialmente diversos estudios de caso, con características diferentes que permitan por una parte ir acumulando la experiencia necesaria al respecto, en tanto que por otra vayan ofreciendo una solución paulatina al problema que se enfrenta (Rodríguez, 2005).

Estos elementos han servido para identificar como **problema esencial** de esta investigación, que la Empresa Forestal Integral Cienfuegos no cuenta con una estrategia para que las plantaciones establecidas capturen un mayor potencial de carbono atmosférico,

El objeto de estudio lo constituyen las plantaciones forestales establecidas de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

La aspiración de la presente investigación radica en:

Objetivo General: Diseñar una estrategia para aumentar la potencialidad de secuestro de carbono en las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Objetivos específicos:

- 1 Caracterizar el patrimonio de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.
- 2 Determinar la línea base de retención de carbono de las plantaciones establecidas.
- 3 Cuantificar el potencial de absorción de carbono en las plantaciones forestales.

Considerando lo antes mencionado se formuló la siguiente **hipótesis**:

Si se cuantifican las potencialidades y la línea base del carbono presente en las plantaciones forestales, se podrá diseñar una estrategia para aumentar la eficiencia de secuestro de carbono en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cambio climático

Es el cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a intervenciones humanas que alteran la composición de la atmósfera terrestre y que se suman a las variaciones climáticas naturales observadas a lo largo de períodos comparables (Tipper, 1998).

Se ha denominado cambio climático a las variaciones en el patrón del clima por la intervención humana. Esta alteración ha modificado el balance de la atmósfera en su capacidad de permitir la radiación mediante el ingreso de los rayos solares y la irradiación con la que se expulsa el calor solar al espacio. Si se reconoce que el clima es un resultado que va más allá de las condiciones atmosféricas, y se concibe la interacción de la geosfera, la biosfera y la hidrosfera, se pueden comprender que las modificaciones del clima proceden de la acción humana sobre todas estas partes del planeta, especialmente sobre la geosfera y la biosfera (Sancho y Prat, 1999).

2.1.1 Efecto invernadero

La tierra esta cubierta por una capa de gases que deja entrar energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra. Alguno de los gases en la atmósfera llamados los gases de efecto invernadero (GEI) que impiden el escape de este calor al espacio. Este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio por encima del punto de congelación del agua y permite la vida tal como se conocen; pero, las actividades humanas producen un exceso de gases de efecto invernadero principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que están elevando potencialmente la temperatura en la tierra, un proceso conocido como cambio climático, que sus principales causas son:

- 1 La quema de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural.
- 2 El cambio en el uso de la tierra en particular la deforestación.

En este sentido, los bosques, dado que almacenan carbono, pueden desempeñar un rol importante evitando la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera. Además la plantación de árboles y bosques sosteniblemente mantenidos, incluidos los destinados a la producción de leña, puede ayudar a evitar la deforestación o invertir la tendencia y puede compensar las emisiones de carbono al actuar como sumideros de carbono (Althof, 1999).

2.1.2 Efectos potenciales del cambio climático y de la identificación del efecto invernadero

La idea del calentamiento global como terrible espada de Damocles que pende sobre

la vida de la especie, hace apenas 30 años ni siquiera era conocida por la inmensa mayoría de los habitantes del planeta; aún hoy existe gran ignorancia y confusión sobre estos temas (Castro, 2007).

El principal efecto del cambio climático es el calentamiento global del planeta. En los últimos 100 años la temperatura media anual del aire ha aumentado entre 0,3 °C y 0,7 °C, atribuido principalmente al aumento de las emisiones de GEI. En numerosos estudios se ha tratado de simular el efecto de diversos escenarios para los próximos 100 años en relación con el calentamiento de la tierra.

Según algunos modelos matemáticos se ha predicho que el aumento de la temperatura para el año 2100 sería de unos 6 °C en las zonas polares mientras que en la zona ecuatorial sería tan solo de 1 °C. Este contraste repercutiría en una menor convención de energía potencial y generaría una variación del sistema global de la masa de aire, provocando probablemente transformaciones en los climas regionales y locales, por ejemplo en las zonas medias y bajas tendrían climas mas húmedos que los actuales, mientras que el norte de Europa y las zonas centrales de Norteamérica y Asia tendrían climas más secos y cálidos (Lopera y Gutiérrez, 2000).

En Cuba los pronósticos indican, que debido al aumento del nivel del mar, entre el año 2050 y 2100 el humedal de la Ciénaga de Zapata, casi habrá desaparecido (4,250 km²), al igual que la Ciénaga de Birama (470 km²) y de Lanier, en tanto la Empresa Forestal Integral Guanahacabibes perderá algo más del 4 % (47 km²) de su territorio actual (Mercadet y Álvarez, 2007).

En el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2007), ha quedado corroborado que las pequeñas islas resultan vulnerables a los efectos del cambio climático, especialmente a la elevación del nivel del mar y a los eventos extremos. Los principales cambios esperados en el clima para Cuba son: aumento del nivel del mar, aumento de la temperatura media del aire y disminución del acumulado anual de lluvia (Centella *et al.*, 2001). Se ha valorado por Álvarez, A.; Mercadet A., (2010), que estos cambios en el clima producirán los siguientes impactos en los bosques: pérdida de bosques y cambios de la composición de especies en las regiones costeras por aumento del nivel del mar; cambio y pérdida de especies por adaptación a la aridez y a la salinidad; severas y sucesivas alteraciones ecológicas por el aumento en intensidad y frecuencia de los huracanes; elevado riesgo de incendios forestales, alteraciones fenológicas y pérdidas de biodiversidad por el aumento de la temperatura.

En Canadá como consecuencia del aumento de la temperatura millones de hectáreas están afectadas por las especies de escarabajos descortezadores de los pinos del género *Dendroctonus erichson* (Logan *et al.*, 2003).

Además, el cambio climático y la variabilidad climática pueden influir indirectamente sobre los ecosistemas. Por ejemplo, una reducción en los niveles de precipitación puede incrementar la probabilidad de incendios forestales, sobre todo en los bosques tropicales secos. La frecuencia e intensidad de los incendios depende de la condición hidrológica del bosque así como de la disponibilidad de materia seca, factores que a su vez dependen de las condiciones climáticas. El cambio climático podría crear condiciones favorables para plagas o para especies invasoras perjudiciales a un ecosistema (Locateli, 2006).

Se sabe que los países con ecosistemas frágiles, como son los pequeños estados insulares y los países áridos, son particularmente vulnerables ante los efectos previstos del cambio climático (IPCC, 2007).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático reportó entre sus consideraciones (IPCC, 2001), que un calentamiento medio de 1,0 a 3,5 °C durante el presente siglo, equivaldría a un aumento en altitud entre 150 y 550 m para las formaciones vegetales de montaña.

En tal sentido Vila (inédito), cita los resultados de un grupo de científicos que en los Alpes austriacos descubrió que algunas especies vegetales alpinas habían "emigrado" hacia zonas más altas a velocidades que iban de menos de un metro a casi cuatro metros al año durante el último siglo, al tiempo que la temperatura de los Alpes centrales aumentó 0,7 °C en ese mismo período. Al respecto plantea que esta tendencia migratoria en latitud ó altitud haría a muchas especies forestales más vulnerables, ya que con independencia de otros factores, tales movimientos desestabilizan el equilibrio biológico de las poblaciones, las que se vuelven más sensibles a la acción de agentes nocivos tales como las plagas.

2.2. Los bosques como sumideros de carbono

2.2.1. Secuestro de carbono

Desde el punto de vista forestal, el secuestro de carbono puede ser considerado como el mecanismo de captura y almacenamiento seguro del carbono de la atmósfera producido por la actividad natural o industrial. Se considera a este mecanismo como una contraparte potencial, natural y manejable, para el balance de carbono en la naturaleza (Althof, 1999).

2.2.2 Papel de los bosques y su relación con el efecto de invernadero

En estudios hechos recientemente indican que la ordenación local de los bosques con miras al secuestro de carbono podría reducir las emisiones de CO₂ en una proporción equivalente del 11-15 % de las emisiones producidas por la quema de combustible

fósil durante el mismo período (Brown, 1996). Pero al mismo tiempo, muchos autores coinciden en un aspecto fundamental: todas las posibilidades de los bosques como secuestradores de carbono no bastan para resolver los problemas que plantean los gases de invernadero y que hacer frente al cambio de clima en escala mundial, exige complejas medidas para adaptarse a sus efectos y mitigarlos y que se debe extender a todos los sectores sociales y económicos. Sin embargo, el intento de aplicar opciones de ordenación forestal que conservan y secuestran el carbono ayudará a que los bosques se transformen en el futuro en una importante fuente neta de secuestro de CO₂ para la atmósfera y por consiguiente, a compensar otros factores que contribuyen a acelerar el calentamiento de la Tierra.

Nuevas investigaciones muestra el importante valor de mantener y manejar los bosques tropicales como sumideros de carbono. Si para el año 2050 disminuimos de la deforestación al 50 % de los niveles actuales, con el propósito de detener la deforestación cuando nos quedan el 50 % de los bosques tropicales del mundo, se evitará la emisión de 50.000 millones de toneladas de carbono a la atmósfera. Esta opción de 50/50/50 permitiría evitar la liberación del equivalente de seis años de las emisiones mundiales de combustibles fósiles (Rubin, 2007).

Los árboles absorben CO₂ de la atmósfera y producen madera. La madera seca de los árboles contiene entre un 47 % y un 53 % de carbono. El carbono almacenado en los árboles queda como un elemento integral de la madera hasta que estos mueren y se descomponen. Sin embargo si el árbol es aprovechado y transformado en un producto maderable para la construcción, ebanistería u otra estructura duradera, el carbono queda almacenado hasta que la madera se descompone y se libera a la atmósfera (Barres, 1993).

El Protocolo de Kyoto considera el año 1990 como punto de partida para medir las variaciones en el carbono almacenado. El registro a partir de ese momento de las variaciones netas de las emisiones por las fuentes, y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero que se deben a la actividad humana directamente relacionada con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura limitada a la forestación, reforestación y deforestación (Martínez y Sánchez, 2001).

En Cuba se han fortalecido las actividades relacionadas con el tema del cambio climático a partir del año 1996, con la incorporación a la segunda fase del programa CC: TRAIN y la creación del equipo nacional de cambio climático.

El inventario nacional de la GEI no solo contribuye a mejorar los estimados de las emisiones globales sino que proporciona el basamento para la ejecución de diferentes acciones en el país, entre ellas la proyección de las probables emisiones en el futuro y la evaluación de estrategia de mitigación de las mismas (CITMA 1999).

2.2.3 El rol de los bosques como sumideros de carbono

La vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma energía solar en química absorbiendo CO₂ del aire para fijarlo en forma de biomasa, y libera a la atmósfera oxígeno (O₂). Los bosques, en particular, juegan un papel preponderante en el ciclo global del carbono (C) ya que:

- Almacenan grandes cantidades de C en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico).
- Intercambian C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y respiración.
- Son fuentes de emisión de C cuando son perturbados por causas naturales, por ejemplo incendios, avalanchas, etc., o antrópicas, como la quema para habilitar campos a actividades agropecuarias, explotaciones forestales sin conceptos silviculturales, etc.
- También son sumideros (transferencia neta de CO₂ del aire a la vegetación y al suelo, donde son almacenados) cuando se abandonan las tierras perturbadas, que se recuperan mediante la regeneración natural.

El hombre, a través del manejo silvicultural de los bosques nativos existentes, y por la creación de nuevos bosques mediante forestaciones y reforestaciones en áreas donde no existen árboles, es capaz de alterar las reservas y flujos de C forestal, modificando su papel en el ciclo del C y utilizando con ello su potencial para mitigar los cambios del clima (Brown *et al.*, 1996).

2.3. Estudios sobre el carbono en los árboles

2.3.1. El carbono en la biomasa aérea

En los bosques de Deramakot en Sabah (Malasia) en la vegetación de la superficie se calculó en base de algoritmo especialmente diseñado utilizando datos satelitales que el promedio de carbono en la biomasa aérea se estima en 156 t/ha donde se aplican prácticas de técnicas de extracción de impactos reducidos, mientras que en los bosques explotados con métodos convencionales esta cantidad es de 123 t/ha (Mannan *et al.* 2008).

En su estudio en cinco zonas de vida de Venezuela (Danley *et al.* 1997), encontraron que el C en la biomasa aérea para árboles mayores de 10 cm. de diámetro, varía desde 70 t C/ha en el bosque muy seco, hasta 179 t C/ha en bosques muy húmedos y decrece ligeramente para la zona de vida húmedo montano (157 t C/ha). En bosques muy secos el C en la biomasa de los árboles con diámetro > 10 cm.

esta entre 0,7-1,0 t C/ha, o 1-1,5 % del C contenido en los árboles >10 cm. Brown y Lugo (1982) reportan contenidos de C en la biomasa aérea de árboles en los trópicos entre 20-269 tC/ha.

El promedio ponderado del contenido de C en la biomasa aérea de las especies analizadas en el estudio sobre la captura de C en bosques nativos (14 especies) y plantaciones (3 especies) de Chile realizado por Gayoso (2001) varió entre 41,05 % y 46,65 % para las especies olivillo y mañío respectivamente, mientras que para el bosque siempreverde el contenido promedio de C en la biomasa alcanza 44,10 %.

2.3.2 Carbono en el suelo

Los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces la cantidad de carbono en la vegetación. El carbono en el suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radical vivo y muerto y el carbono negro. Aumentar el nivel de carbono en el suelo podría ser un servicio ambiental precioso (Jandl, 2001).

El incremento de CO₂ en nuestra atmósfera influye directamente sobre la productividad de los cultivos, el mejoramiento del suelo, del agua y de la calidad del aire. El secuestro de carbono en el suelo es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico, almacenado en el suelo. A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosférico pueden reducirse en la medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. En general, las prácticas de manejo que incrementan el carbono orgánico del suelo también reducen la erosión del suelo y mejoran los recursos naturales (Espinoza, 2005).

Los constituyentes orgánicos de los suelos tropicales no poseen unas calidades especiales que los diferencien de los de las regiones templadas (Batjes y Sombroek, 1997).

Mientras la relación de carbono en un componente particular de la biomasa aérea ofrece la posibilidad de estimarlo en muchos otros componentes en un área mucho más extensa, en los suelos se da una excepción, pues aunque la productividad de la biota sirve como entrada de C al suelo, otros factores tales como tipo de suelo, textura, mineralogía y clima, regulan la cantidad (Danley *et al*, 1997).

En la mayoría de los bosques húmedos tropicales de la amazonía, la actividad de las raíces está concentrada en la superficie del suelo, y el ciclo de nutrientes ocurre principalmente en la capa de descomposición por encima del suelo. (Shubart *et al*,

1994, citado por Cerri, Volkoff y Andreaux, 1991). La deforestación afecta fuertemente el ciclo del C, a través del decrecimiento de la fitomasa en desarrollo y de los residuos por encima del suelo. El contenido total de C debajo del suelo, también decrece y cambia la composición del humus, en estrecha relación con el decrecimiento de la porosidad del suelo, la estabilidad estructural y la fertilidad (Cerri, Volkoff y Andeaux, 1991).

Si bien los inventarios forestales resultan efectivos para medir la biomasa por encima del suelo, es decir los troncos y el follaje en bosques uniformes, existe incertidumbre acerca de la medición de la biomasa debajo del suelo, esto es las raíces y los microorganismos. Además, a escala mundial, existen opiniones divergentes acerca de la definición de áreas de vocación forestal. Aún cuando existiera consenso en este aspecto, aparecen otras dificultades: un problema serio es que no somos capaces de medir el C del suelo con precisión a causa de la enorme variabilidad espacial. La cuestión que surge en todos los métodos que miden los cambios en depósitos de carbono, es que sean conservadores en caso de incrementos y sensitivos en caso de reducciones (Hamburg, 2000).

2.3.3 Influencia de los humanos sobre el ciclo del carbono

El flujo de C, en sus diferentes fracciones y retroalimentaciones, ha mantenido el CO₂ atmosférico razonablemente constante por miles de años. Pero los humanos, por el cambio del uso de la tierra y por la inyección de C fósil dentro del ciclo, han incrementado las emisiones de CO₂ a la atmósfera, trayendo como consecuencia la distorsión del balance deseable. Se estima que el incremento de C ha sido superior a 1,500 millones de toneladas métricas por año, principalmente debido a la quema de combustible. Según (Houghton, 2003 citado por Rodríguez, 2005) la pérdida de C por el cambio de uso de la tierra ha crecido progresivamente en el último siglo, aproximándose a tasas de 2 Pg C por año, especialmente por la deforestación tropical.

El incremento en las concentraciones de CO₂ atmosférico puede traer como consecuencia que las fuentes del mismo excedan los sumideros. Según Danley *et al*, (1997), el ciclo moderno del C tiene flujos dos principales:

1. Entre la atmósfera y la vegetación terrestre (120 Pg por año).
2. Entre la atmósfera y el océano (105 a 107 Pg por año).

En consecuencia, los suelos juegan un papel importante en este ciclo, ya que pueden constituirse en una fuente o un sumidero de C e influenciar las concentraciones de

CO₂ en la atmósfera.

2.3.4. Carbono en otros componentes del bosque

Según encontraron Danley *et al* (1997), la materia orgánica fina varió muy poco en las cinco zonas de vida estudiada en Venezuela (2,4 t C/ha – 5,2 t C/ha). Así mismo, los valores de necromasa se encuentran entre 2,4 t C/ha -3,3 t C/ha para las zonas secas (con un 42 % - 76 % en la clase muerta en pie) y entre 16.7 t C/ha – 21.2 t C/ha para las húmedas (42 % -61 % muerta en pie). Por otra parte Cerri, Volkoff y Andeaux, (1991) determinaron una producción de hojarasca entre 5 t C/ha - 6 t C/ha en un bosque natural ubicado en Manaus (amazonía brasileña).

2.3.5. Carbono total y su distribución entre los componentes

En el estudio realizado por Danley *et al* (1997), el promedio total de C en la biomasa más en el suelo varió entre 302 - 408 t C/ha, siendo mayor (52 – 68 % del total) el C del suelo en tres zonas de vida (muy seco, húmedo montano bajo y húmedo montano) mientras que en las otras dos (húmedo tropical y transición seco a húmedo) fue menor (20 % - 36 % del total). Los otros componentes del bosque contienen menores porcentajes de C del total, estando entre 6 % - 11 % en raíces, 1 % - 8 % en necromasa y 2 % en hojarasca fina.

Díaz y Molano (2001) obtuvieron valores promedios de carbono para *Eucalyptus grandis* de 45,1 %, dentro del cual, los resultados por comportamiento varían desde 41,8 % en la corteza, hasta el 48 % en el fuste. Las ramas se ubican en el promedio encontrado para el total de los con 45 %, la raíz y la hojas, tienen porcentajes de carbono muy similares dentro de su composición química, con 44 % y 43,5 % respectivamente.

Brasil es el país cuya «biomasa forestal viva» fija más cantidad de carbono con unos 62 mil millones de toneladas. Pero la deforestación del Amazonas ha disminuido su capacidad de retener carbono en ocho por ciento desde 1990, según datos del informe (State of the World Forests 2011) de la FAO. La biomasa forestal viva de los bosques cubanos almacena, según el propio documento, 226 millones de toneladas de carbono, el doble que hace 20 años. Cuando los bosques se manejan de forma sostenible son un sumidero de carbono, pero se pueden convertir en fuente emisora cuando se destruyen o se degradan. La biomasa forestal sosteniblemente gestionada, puede ser gasificada (o combustionada) y utilizada como portador energético para generar electricidad sin provocar emisiones netas de CO₂ a la atmósfera.

2.3.6. Tasas de fijación de carbono en la vegetación

Las plantaciones tropicales (principalmente de *Eucalyptus sp*, *Tectona grandis*, *Pinus sp*, entre otras) tienen un potencial de fijación que oscila entre 2,7 t C/ha/año y 9,6 t C/ha/año (Brown, Lugo y Chapman, 1986); al respecto Ramírez, Gómez y Schukltz (1997) determinaron una tasa de fijación de 7,7 t C/ha/año en plantaciones forestales de Costa Rica; en algunos registros para bosques tropicales maduros se tienen tasas de $0,71 \pm 0,34$ t C/ha/año (Philips *et al*, 1998), 1 t C/ha/año en Perú (Grace *et al*, 1996).- 2,2 t C/ha/año (Fan *et al*, 1998) y 5,9 t C/ha/año (Malhi *et al*, 1998) cerca de Manaos en la amazonía brasileña. Ortiz (1997) encontró, que en bosques secundarios de Costa Rica se ha producido después de 20 años una tasa media de fijación en la biomasa aérea de 3,76 t C/ha/año.

2.4 Ordenación forestal y la fijación de carbono

Ordenación forestal sostenible (OFS) debe formar parte de cualquier sistema que busque reducir la deforestación y degradación forestal en el trópico. El rol de la conservación y ordenación forestal en la reducción de las emisiones de carbono de los bosques tropicales ahora forma parte de del texto de negociación de los delegados de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC), y hoy la mayoría de la gente coincide en que simplemente se recompensa a los países por revertir el proceso de deforestación probablemente solo se traslade el problema a otros lugares del trópico que hasta ahora han mantenido sus bosques relativamente intactos (Putz F.E., *et al*. 2008).

En un artículo recientemente aparecidos de varios profesionales forestales eminentes, se cita un estudio que reveló que con prácticas de manejo(inclusive técnicas de extracción de impacto reducido-EIR) se logró una caída alrededor del 30 % en las emisiones de carbono de los bosque tropicales en comparación con los métodos convencionales de aprovechamiento , dado una reducción potencial de emisiones de por lo menos un 10 % de las reducciones posibles con la eliminación de la deforestación tropical a costos relativamente bajos.La Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) sigue sosteniendo que la OFS debe ser parte de todo sistema que busque reducir las emisiones derivadas de los bosques tropicales y que su labor en el seguimiento e información del proceso de OFS en el trópico puede significar una gran ayuda en el establecimiento de un sistema de este tipo (Johnson S.,*et al*.2010).

La Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) ve también la necesidad de fomentar una mayor participación del sector privado en las iniciativas mundiales relacionadas con el carbono de los bosques, inclusive empresas fuera del sector

forestal que deseen compensar sus emisiones, cuyo mercado está creciendo con rapidez, aunque la reciente crisis económica mundial ha contraído los precios del carbono al igual que los de todos los demás productos. En general, está aceptado que las actividades perjudiciales de uso de tierra generan por los menos un 18% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, derivadas principalmente de la reforestación. La FAO estima una pérdida anual de bosque en el mundo de alrededor de 13 millones de hectáreas (o aproximadamente el tamaño de Suiza), con una emisión de alrededor de 1650 Tm CO₂ cada año. Pese a esta importante contribución a las emisiones mundiales, los proyectos de uso de tierras representan menos del 1 % del mercado oficial de carbono. El banco mundial estimó que el creciente mercado mundial del carbono tenía un valor de más de US\$ 64.000 millones en 2007, más el doble del año anterior de US\$13.000 millones (Johnson S., *et al.*2010).

La Asociación de Colaboración de las Naciones Unidas para Reducir las Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (UN-REDD) constituyen en un esfuerzo conjunto entre la FAO (Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación), el PNUD (Programa de la naciones Unidas para el Desarrollo) y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), orientado a combatir el cambio climático mediante la creación de un mecanismo técnico y financiero que permita revertir las prácticas insostenibles de ordenación de recursos naturales (Holmgren, 2010).

Uno de los desafíos fundamentales para la ejecución del programa UN-REDD es la necesidad de la plena identidad nacional del proceso. Los programas nacionales tendrán en cuenta las necesidades de información, requisitos de desarrollo de capacidad, infraestructuras e impactos en las leyes y políticas nacionales. Se promoverán las prácticas locales para la ordenación sostenible de bosques y recursos naturales (Holmgren, 2010).

2.5. Servicios ambientales del bosque

Las oportunidades y retos para los bosques se pueden definir y concentrar en dos grandes áreas: una la del manejo socioeconómico y dos la del manejo político económico; en esta última área se está pensando en los Servicios Ambientales, donde el reto será optimizar esquemas, mediante los cuales se reconozcan los servicios ambientales que produce el bosque, a quienes lo manejan sosteniblemente. Algunos servicios ambientales son: protección de la diversidad biológica para conservarla, su uso sostenible, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas y formas de vida; producción de agua para el consumo

humano (urbano, rural o hidroeléctrico); belleza escénica como fuente de atracción turística y científica y fijación de gases con efecto invernadero (reducción, absorción, fijación y almacenamiento de carbono). Para que el sistema sea sostenible, el cobro de los servicios ambientales debe ser internacionalizado por el mismo país o sociedad donde existen estos bosques, unos a nivel más local, otros a nivel más nacional y muchos de ellos, como en el caso de fijación de CO₂ a nivel mundial. En la actualidad no se puede pensar exclusivamente en los bosques como productores de madera, hay que ampliar esta visión y pensar en los bosques como productores de Servicios Ambientales (Tottenback, 1997, citado por Rodríguez, 2005).

Alfaro (1997) así como Chávez y Lobo (2000), argumentan que en términos generales los ecosistemas (bosques, plantaciones forestales, manglares, humedales, arrecifes, etc.), brindan una amplia variedad de bienes y servicios en el ámbito local, nacional y mundial. Se entiende por bienes ambientales aquellos productos (madera, frutos, pieles, carne, semillas, medicinas, entre otros) que son utilizados por el ser humano para su consumo o comercialización; los servicios ambientales son considerados como la capacidad que tienen los ecosistemas para generar productos útiles para el hombre, entre los que se pueden citar la regulación de gases (producción de oxígeno y secuestro de carbono) la belleza escénica, y la protección de la biodiversidad, los suelos y el agua.

2.5.1 Pagos por servicios ambientales del bosque

La compensación, comúnmente conocida como pago, de los servicios ambientales (PSA) es una iniciativa que está surgiendo en los programas de desarrollo forestal y agroforestal. Por ejemplo, el programa “Compensando a las comunidades pobres de las tierras altas por sus servicios ambientales” investiga nuevas formas de trabajar la pobreza (Van Noordwijk, 2007). El objetivo del programa es aumentar la seguridad de los medios de sustento y recursos para las comunidades pobres que viven en las tierras altas de Asia, y mantener o mejorar las funciones ambientales De Los Ángeles, 2007 citado por Van Noordwijk, 2007. Existen oportunidades para que los campesinos locales mantengan o restauren las funciones agro-ecosistémicas locales que promueven la protección de cuencas hidrográficas, la conservación de la biodiversidad y el secuestro de carbono. Estas oportunidades incluyen, por ejemplo, la provisión de incentivos financieros y seguridad de los recursos para promover la conservación. Además, están surgiendo también nuevos mecanismos de mercados que tienen potencial para compensar a estas comunidades más pobres por un ejemplo eficaz y sostenible de los recursos naturales. Todas estas oportunidades se respaldan en el

compromiso político mundial de reducir la pobreza a la mitad para el año 2015 (RUPES, 2002).

Actualmente, se están llevando a cabo los ensayos del programa “Compensando a las comunidades pobres de las tierras altas por sus servicios ambientales” en la Reserva de Kalaban en Luzón, Filipinas, y en la circunscripción cuenca hidrográfica del Kulekhani en Nepal (Chandler, 2004). También se están realizando otros ensayos en la Reserva de Bakun, una comunidad cultural indígena en el norte de Luzón, Filipinas, así como en Singkarak y Bungo, Indonesia (Van Noordwijk, 2007). Si bien aún no se está comercializando carbono en los ensayos de Filipinas, ambos se están orientando en esa dirección Pindog y Rice, (2007) citado por Van Noordwijk, (2007).

Existen varias oportunidades potenciales para que los pequeños agricultores aumenten sus ingresos anuales a través del comercio de carbono forestal. Calderón (2002) señaló pese a las incertidumbres relativas a la inclusión de los proyectos forestales dentro del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), muchas partes interesadas ya están participando en el comercio del carbono forestal. Si bien el precio de la tonelada de carbono varía, es evidente que se están moviendo cantidades de dinero considerables. En Australia, la bolsa de futuros de Sydney ya ha establecido un mercado de créditos de carbono, y muchos emisores de carbono ya están comprando créditos de los productores forestales Calderón (2002). En diciembre de 2006, el volumen de instrumentos financieros de Carbono (CFI) comercializando en la denominada Bolsa del Clima de Chicago ascendió a 10, 272,400 toneladas métricas (tm) de dióxido de carbono, mientras que su equivalente europeo comercializó 443,496,000 tm de dióxido de carbono (CCX, 2006).

El carbono, como producto básico, se comercializará a través de certificados de reducción de emisiones entre los compradores y vendedores. El precio estará determinado por la interacción de las partes correspondientes. Para los vendedores, la principal consideración cuanto les costaría establecer y mantener el proyecto de neutralización del carbono, así como los valores perdidos o costos de oportunidad. Por otro lado, los compradores estarían interesados en comprar los créditos de carbono solamente si son más baratos que el costo de reducir las emisiones en la fuente (Calderón, 2002).

El comercio de los servicios ambientales en Costa Rica marca la pauta en Centroamérica y El Caribe, el reconocimiento y la retribución de los servicios ambientales en este país, constituye un avance de cara al desarrollo sostenible. Se cuenta en Costa Rica con un marco normativo e institucional adecuado que se propone internacionalizar los beneficios ambientales y establecer su retribución, tanto a nivel local como global. Esta condición ha logrado reconocimiento nacional e

internacional favorable, sobre servicios que representan fuentes potenciales considerables de ingresos provenientes del exterior (captura de carbono, biodiversidad y belleza escénica). La credibilidad a nivel local ha provocado una creciente demanda de pago por servicios ambientales por parte de medianos y pequeños productores, lo cual es muy buen indicador de la conciencia que se está generando sobre la provisión de servicios ambientales. Costa Rica ha incrementado sus áreas boscosas bajo una estrategia que privilegia la conservación, donde el mantenimiento y el aumento de cobertura vegetal permanente es determinante para la provisión de los servicios ambientales, y donde las oportunidades externas de venta de servicios ambientales combinadas con mecanismos internos como el pago por servicios ambientales representan elementos que potencialmente pueden incorporarse en el marco del desarrollo sostenible.

El caso costarricense muestra la relevancia de la institucionalidad para lograr establecer la venta de servicios ambientales a nivel internacional y su retribución interna mediante el pago a productores. La existencia de esta institucionalidad, a nivel global y local permite la creación de mecanismos novedosos para el logro de fines ambientales, así como el aprovechamiento de los beneficios originados por estos mecanismos (Cuellar y Herrador, 2000).

En México, se han incorporado programas para el pago de servicios ambientales (PSA), en el que se incluye el pago de servicios ambientales por captura de carbono (CONAFOR, 2009), solo que la información sobre las tasas de secuestro de carbono por especie es aún muy escasa, lo que dificulta la cuantificación y por ende el pago de servicios ambientales por secuestro de carbono (Acosta y Etchevers, 2005).

Los bosques producen beneficios directos e indirectos para los seres humanos. Entre los beneficios directos con un valor de mercado, se incluyen la madera, leña, y productos forestales no maderables. Indirectamente, los bosques brindan servicios esenciales, como el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la polinización o la sustención de la diversidad genética. El valor promedio anual de estos servicios se estima en US\$ 900 por hectárea (Teeb Do, 2008) citado por Sukhdev, (2010).

2.6 Cuba y el cambio climático

De acuerdo a la Convención Marco de la Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), todos los países tienen responsabilidades comunes pero diferentes en el calentamiento global debido al incremento de la concentración de los GEI por causas antrópicas (UNEP Y UNFCCC, 2001).

Durante la Cumbre de la Tierra efectuada en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992, Cuba firmó la CMNUCC, ratificándola el 5 de enero de 1994. Esta

convención entró en vigor el 5 de abril de 1994. El fortalecimiento de las actividades sobre el cambio climático ocurre a finales de 1996 con la incorporación de Cuba en la segunda fase del programa CC: TRAIN y la creación del Equipo Nacional de cambio climático. Cuba aunque con una pequeña contribución a las emisiones de GEI, ha brindado una significativa atención a las actividades relacionadas con el cambio climático, especialmente en la ejecución de estudios técnicos que integran la Comunicación Nacional. También ha brindado cooperación técnica, a países que la han solicitado (INSMET, 1990).

Desde comienzo de la década de los años 90 el país ha estado fuertemente en las acciones relacionadas con el cambio climático global: La formulación de las metodologías requeridas para su análisis; la evaluación periódica de sus emisiones, de los impactos esperables para cada sector económico, la identificación de las medidas de adaptación y mitigación necesarias para reducir sus influencias negativas y aprovechar las positivas, la adopción de compromisos internacionales para la estimación y reducción de emisiones, la aprobación para la ejecución de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio en el país, etc.

Al Cuba firmar y ratificar el CMNUCC asumió, implícitamente una serie de compromisos legalmente vinculantes, entre los cuales se encuentran la preparación y ejecución de estrategias de mitigación en diversos sectores económicos, de forma tal que ello le permita, o reducir sus emisiones, o aumentar sus emisiones o ambas alternativas simultáneamente.

Al realizar el análisis nacional de las fuentes de emisiones y de los sumideros existentes en el país, entre estos últimos los bosques y los suelos han sido identificados como los principales sumideros con que cuenta Cuba, por lo que la estrategia nacional de mitigación que formule el país tiene que contar con una componente forestal, donde se integre de forma única el manejo de los bosques y el uso de los suelos sobre los que éstos se establecen, recursos que hoy presentan no menos del 23 % de la superficie nacional (Rodríguez, 2005).

2.6.1 Estrategia de mitigación

Tres son las estrategias que pueden adoptarse en relación con el carbono presente en los bosques. La primera consiste en aumentar la tasa de acumulación de carbono mediante la creación o ampliación de sumideros de carbono (absorción del carbono). La segunda radica en impedir o reducir la emisión del carbono existente en los sumideros actuales (conservación del carbono). La tercera estrategia supone reducir la demanda de combustibles fósiles aumentando la utilización de madera, ya sea en productos de madera duraderos (es decir, la sustitución de materiales como el acero y

el cemento con un alto consumo de energía) o como combustibles (sustitución del carbono). Estas estrategias pueden ser complementarias. Existen ya varias iniciativas encaminadas a la absorción y conservación del carbono, como las actividades realizadas conjuntamente que se desarrollan en el marco de la CMCC y los proyectos sobre el carbono relacionados con el cambio del uso de la tierra y la silvicultura.

Para poder obtener la absorción del carbono en cuanto al uso de las tierras y de la actividad forestal, se pueden forestar, reforestar y restaurar aquellas tierras que se encuentren degradadas, se pueden aplicar técnicas silvícolas mejoradas para aumentar la tasa de crecimiento.

Para poder llevar a cabo la conservación del carbono es necesario conservar la biomasa y el carbono del suelo en los bosques existentes, realizar prácticas de aprovechamiento mejorado, protección contra incendios y utilizar quema controlada con mayor eficacia en bosques y sistemas agrícolas.

Si se mantiene un mayor índice de conversión de biomasa forestales en productos de madera, duraderos para sus utilizaciones, en lugar de materiales que exigen un alto consumo de energía y una mayor utilización de biocombustibles (Ejemplo: introducción de plantaciones de bioenergía), mayor utilización de los restos de la actividad de explotación para producir biocombustibles (Ejemplo, el aserrín); se obtendrá una mayor producción de carbono lo cual será sustituido por todos estos elementos (Bass *et al*, 2001).

Una estrategia de mitigación puede incluir una variedad de sectores económicos. Estos incluyen la demanda y sumideros de energía, forestal, agricultura y manejo de los desperdicios. Idealmente una estrategia de mitigación debe incluir el análisis del impacto de las acciones de mitigación (particularmente en el sector energético) sobre la macroeconomía. Los países deben enfocar estas evaluaciones a los tópicos más importantes, considerando los recursos disponibles para perfeccionar el estudio. Una evaluación debe incluir algunas consideraciones políticas y de programas que puedan encausar la adopción de tecnologías de mitigación y prácticas (Sathaye y Mallares, 1995 citado por Rodríguez, 2005).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Característica de la Empresa Forestal Cienfuegos

3.1.1 Ubicación

La Empresa Forestal Integral Cienfuegos, ubicada en la provincia del mismo nombre posee patrimonio en los municipios de: Lajas, Rodas, Palmira, Abreus, Cumanayagua y Cienfuegos, limita al norte con el río Hanábana y Provincia Villa Clara; al sur con el mar Caribe y Bahía de Cienfuegos; al este con la Provincia de Villa Clara y Santi Spíritus; al oeste con la Ciénaga de Zapata. La oficina central de la empresa esta ubicada en la calle 63 N0. 72ª15 entre 72 y 74 Pueblo Griffo, Cienfuegos.

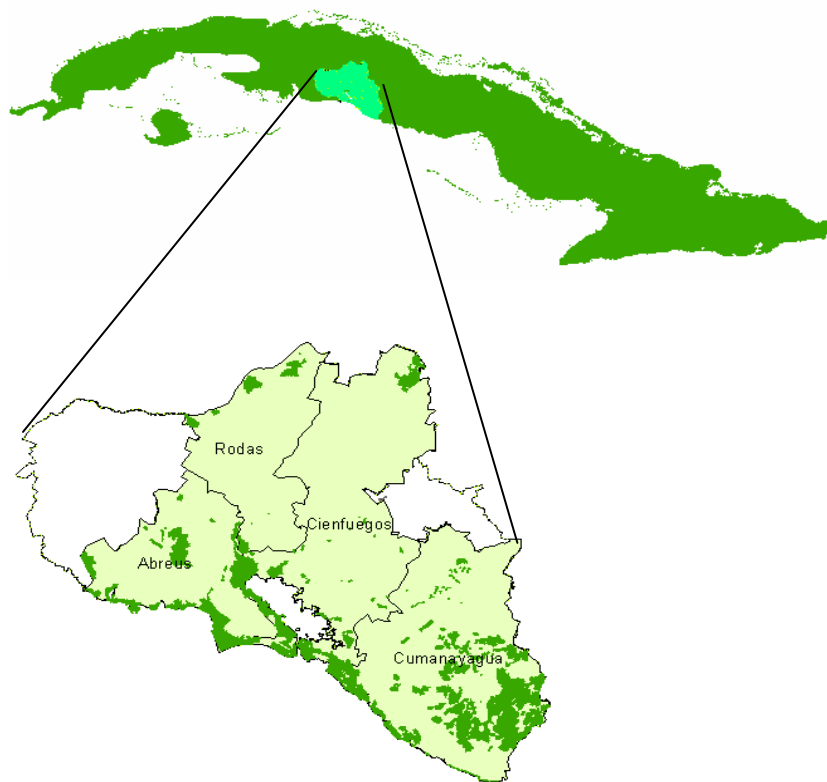


Figura 3.1. Ubicación territorial de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

En la actualidad la Empresa cuenta con cinco Unidades Empresariales de Base (UEB), de ellas tres son UEB Silvícolas, una UEB Agroindustrial y una UEB de Aseguramiento, el patrimonio que administra la Empresa asciende a 33 975,0 ha y su distribución por unidad se observa en la siguiente figura:

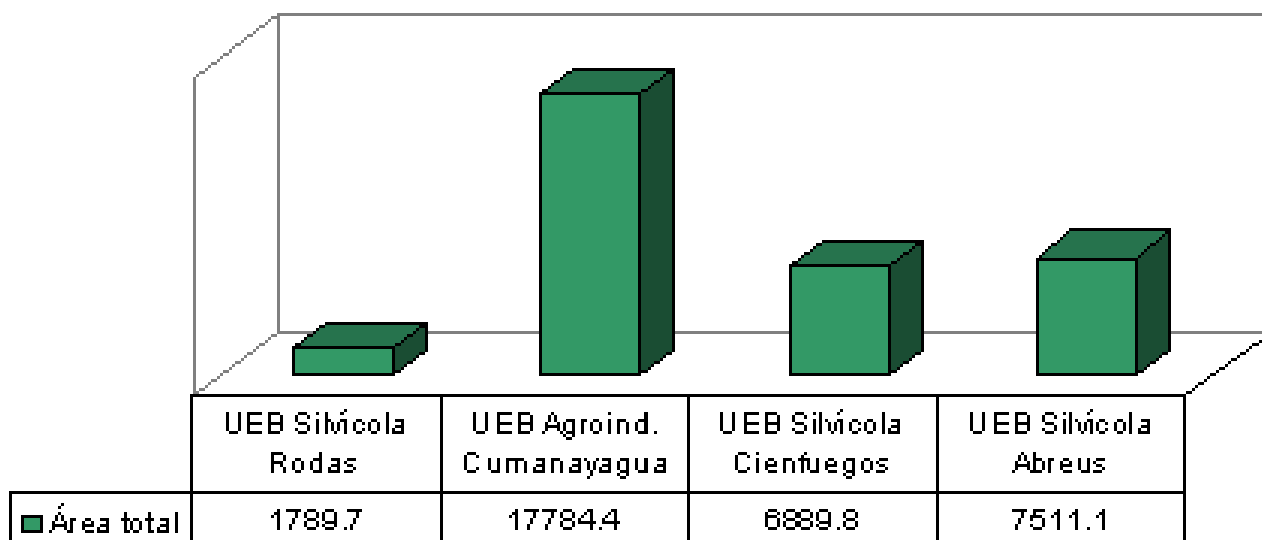


Figura 3.2 Distribución del patrimonio en hectáreas por Unidades Empresariales de Base.

3.1.2 Clima

La caracterización de los elementos climáticos de la provincia se realizó a partir del informe “Datos climáticos provincia de Cienfuegos, período 1980-2010”.

Temperatura: La temperatura media de la provincia fue de 23,3 °C reportándose en la estación de Topes de Collantes una temperatura de 20,6 °C y en la estación de Cienfuegos 24,7 °C.

- **Humedad relativa:** La humedad relativa media de la provincia es 80% destacándose Topes de Collantes con el 87 % y Cienfuegos con el 76 %.
- **Presión atmosférica:** Esta se toma solo a nivel de estación y alcanzó 1011 hPa.
Vientos: Los vientos predominantes son del noreste con gran influencia en el sector norte y oeste del territorio y sureste en el flanco sur y suroeste con influencia de salina en las zonas costeras, donde la media anual es de 9,9 km/h.
- **Precipitación:** La precipitación media del período estuvo en 1 457 mm, pero es de destacar que en la provincia la influencia de la sequía desde el año 1 995 ha afectado el éxito del logro y la supervivencia de las plantaciones, así como se han creado las condiciones óptimas para la aparición de incendios forestales. Además el atraso en el inicio de la temporada de lluvia la cual ha comenzado como promedio entre la última quincena de junio y la primera de julio hace pensar en el cambio del calendario de plantación de la provincia.

3.1.3 Relieve

El relieve donde se desarrollan los bosques de la empresa está definido en tres zonas que son, la unidad Cumanayagua que tiene una zona de premontaña con relieve ondulado y una zona de montaña ubicada en el macizo Guamuaya y en el resto de las unidades el relieve predominante es llano.

3.1.4 Suelo

Los suelos predominantes en las zonas llanas son los suelos pobres ferralíticos rojos lixiviados de poca profundidad y de muy mal drenaje sobre todo en las áreas de desarrollo, lo que limita el aumento de la biodiversidad de especies a fomentar, en la zona de montaña los suelos son de mayor calidad y clasifican como las segundas alturas del país, sobrepasando los 1 000 m. s.n.m. cubiertas muchas de ellas por bosques pluvisilvas de montañas, en esta zona hay grandes pendientes y lugares de barranco.

3.1.5 Hidrología

Es necesario destacar que dentro del territorio que administra la empresa es poca la incidencia de ríos o embalses, no obstante en el caso de la presa Galindo del municipio de Abreus ubicada en el macizo forestal del mismo nombre se encuentra totalmente reforestada.

3.1.6 Cobertura Forestal

La información de cobertura forestal fue obtenida del Proyecto de Ordenación de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos (SEF, 2009).

La Empresa Forestal Integral Cienfuegos cuenta con un patrimonio de 33 975,0 ha, distribuidas en cuatro unidades empresariales de bases como se muestra en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Distribución del patrimonio de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

UEB	Plant.	Plant.	Bosques	Area	Area	Area
Municipio	Joven	Establec.	Natural	Deforest.	inforestal	Total
UEB Silvicola Rodas	93.7	872.2	365.6	371.2	87.0	1789.7
UEB Agroindustrial Cumanayagua	64.6	1398.3	16069.2	137.2	115.1	17784.4
UEB Silvicola Cienfuegos	48.6	989.5	5448.2	328.8	74.7	6889.8
UEB Silvicola Abreus	44.2	1313.4	5517.7	204.5	431.3	7511.1
Total	251.1	4573.4	27400.7	1041.7	708.1	33975.0

Las plantaciones establecidas por unidades empresariales se destacan en la tabla 3.2

Tabla 3.2. Plantaciones establecidas en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

	Superficie (ha) de las Unidades Empresariales de Bases				
Especie	Abreus	Cienfuegos	Cumanayagua	Rodas	Total General
<i>Albizia sp</i>	1,7	65,9	99,6	44,2	211,3
<i>Anacardium occidentale</i>	0	0	0	0	1,3
<i>Buchenavia capitata</i>	0	0	1,1	0	1,1
<i>Calophyllum antillanum</i>	0	0	0,6	0	0,6
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	0	15,2	0,4	0	15,5
<i>Citrus cinensis</i>	0	0	0	3,1	3,1
<i>Citrus limon</i>	0	0	0	1,6	1,6
<i>Cedrela odorata</i>	0	0	0,9	0	0,9
<i>Casuarina sp.</i>	169,1	131,0	4,4	6,3	310,8
<i>Delonix regia</i>	0	0	0,5	0	0,5
<i>Eucalyptus sp.</i>	1026,7	561,5	159,6	719,3	2467,1
<i>Genipa americana</i>	0	0	2,2	0	2,2
<i>Grevillea robusta</i>	0	0	16,0	0	16,0
<i>Hibiscus elatus.</i>	0	63,6	2,9	0,7	67,1

<i>Khaya sp.</i>	0	1,6	1,1	0	2,7
<i>Lysiloma bahamensis</i>	20,3	0	0	0	20,3
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,1	0	13,3	0	16,4
<i>Mangifera indica</i>	5,0	0	0	0	5,0
<i>Pinus caribaea</i>	82,8	23,6	1021,3	60,3	1188,0
<i>Swietenia mahogani</i>	2,2	0	31,4	0,5	34,1
<i>Swietenia macrophylla</i>	0	86,4	21,9	36,4	144,7
<i>Samanea saman</i>	0	0	7,6	0	7,6
<i>Tectona grandis</i>	0	40,8	13,7	0	54,5
<i>Talauma minor</i>	0,9	0	0	0	0,9
Total/Unidad	1313,4	989,5	1398,3	872,2	4573,4

Cinco tipos de bosques fueron identificado: bosque semicaducifolio sobre suelo ácido (sfc-a), bosque semicaducifolio sobre suelo calizo (sfc-c), pluvisilva de montaña (Psv-m), (pn) y bosque de manigua costera (mc). Su caracterización se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 3.3. Distribución de las plantaciones por formaciones boscosas en la Empresa Forestal Cienfuegos.

	Superficie (ha) de las Unidades Empresariales de Bases				
Formación de Bosques	Abreus	Cienfuegos	Cumanayagua	Rodas	Total General
Mc	0	0	9,9	0	9,9
Pn	82,8	23,6	1021,3	60,3	1188,0
Psv-m	0	0	187,0	0	187,0
Scf-a	1194,1	765,1	5,0	810,7	2774,9
Scf-c	36,5	200,9	175,1	1,1	413,6
Total	1313,4	989,5	1398,3	872,2	4573,4

El 72 % de las plantaciones están destinados a la producción de madera fundamentalmente, 27 % es considerado como protector de agua y suelo, mientras que el 0,9 % tiene la función de protector del litoral y el 0,1 % es de recreación, según se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3.4. Categoría de los bosques identificados en la Empresa Forestal Cienfuegos.

	Superficie (ha) de las Unidades Empresariales de Base	

Categoría de Bosque	Abreus	Cienfuegos	Cumanayagua	Rodas	Total General	Área relativa en %
Pdt (poner los nombres o aclar simbología)	1277,0	893,8	247,1	871,0	3289,0	72,0
PtAgSI	36,5	52,0	1151,2	1,1	1240,7	27,0
Pólit	0	40,4	0	0	40,4	0,9
Rcr	0	3,4	0	0	3,4	0,1
Total general	1313,4	989,5	1398,3	872,2	4573,4	100

3.2 Estimación del carbono secuestrado

Los métodos utilizados para la determinación del carbono retenido en la biomasa y el suelo fueron establecidos por (Nabuurs y Mohren, 1993, citado por Jara, 2002) y Mercadet y Álvarez (2005).

3.2.1 Biomasa forestal

La estimación de la Biomasa forestal del bosque se realizó a partir de los datos existentes procedentes de la ordenación forestal y la densidad de las especies, mediante la siguiente formula:

$$BM_F = V \times (\Phi / 1000)$$

Donde

V= volumen en m³.

Φ= densidad en kg/m³.

BM_F =Biomasa de los fustes.

Esta biomasa fue ajustada ya que la biomasa de los fustes no considera la totalidad del árbol por encima del suelo (ramas, follaje), por lo que fue necesario adicionar la biomasa restante mediante un factor de expansión de biomasa (FEB) (Brown, 1997, citado por Rodríguez y Corrales, 1998), aplicando la siguiente expresión:

$$BM_T = BM_F \times FEB$$

Donde

BM_T = Biomasa total

FEB = Factor de expansión de la biomasa 1.74 (Mercadet y Álvarez, 2005).

3.2.2 Carbono en la biomasa forestal

La estimación del carbono retenido en la biomasa forestal se realizó utilizando el

Factor de Contenido Medio de Carbono (FCMC_m), mediante la siguiente expresión:

$$CR = BM_T \times FCMC_m$$

Donde

CR = Carbono retenido por la biomasa forestal

FCMC_m = factor de contenido medio de carbono en la madera (0,5 coníferas y 0,45 latifolias) (Segura, 2001).

3.2.3 Carbono retenido por las raíces

El carbono retenido por las raíces se estimó según Nabuurs y Mohren, (1995), para determinar la biomasa debajo del suelo, que consiste en el sistema radicular del árbol. Es conveniente estimarla como un porcentaje de la biomasa arriba del suelo. La literatura de inventarios de carbono indica que un valor entre 10 y 15 % es conservador; pero que permite obtener un estimado aproximado de la biomasa en esta fuente sin incurrir en sobreestimaciones dañinas. En este caso se usará un 12,5 %.

3.2.4 Carbono retenido en el suelo

Para el cálculo del carbono retenido en el suelo fue necesario estimar el contenido de carbono en el primer metro de profundidad del suelo, utilizando la superficie de bosques y el valor promedio reportados para los bosques tropicales (VPCBT), en el caso de las plantaciones forestales:

- Plantaciones

$$CS = \text{Superficie [ha]} \times VPC_{BT} [\text{t C/ha}],$$

Donde

CS = Carbono retenido en el suelo

VPC_{BT} = Valor promedio de carbono en el suelo de los bosques tropicales (VPC_{BT} 123 (t C/ha)) (Gómez y Echeri, 2000).

3.3. Estimación de la línea base de retención de carbono

Para obtener la cantidad total de carbono retenido por las plantaciones forestales de la empresa se sumarán los resultados alcanzados en el carbono retenido por la biomasa aérea, la subterránea y el suelo.

3.4 CO₂ fijado por la biomasa

El CO₂ capturado por los árboles, se determinó partiendo del peso del carbono presente en la biomasa y multiplicándolo por la relación existente entre el peso total de la molécula de CO₂ (44) y el átomo de carbono (12) (Ramírez, 1999) aplicando la siguiente expresión:

$$C0_2=C*Kr$$

Donde:

$C0_2$ =Toneladas de dióxido de carbono

Kr = 44/12.

3.5 Proposición de la Estrategia de Mitigación

Para la proposición de la estrategia de mitigación se identificaran las acciones que la empresa pudiera emprender de acuerdo con el proyecto de ordenación, para que en el futuro pueda aumentar de forma adicional la capacidad potencial de retención de carbono en las plantaciones forestales.

3.6 Cuantificación del potencial de absorción de carbono

En todo proyecto de forestación o reforestación para un Mecanismo de Desarrollo Limpio se debe cuantificar el potencial de absorción de carbono (C) se obtendrá mediante una comparación de los sumideros de carbono con y sin las actividades de la estrategia, considerando tres factores diferentes: línea de base, adicional y fugas. La línea base constituye las variaciones de carbono sin realizarse la estrategia, mientras que la adicional comprende los cambios ocurridos en el carbono con la ejecución de la estrategia. El concepto de fuga se refiere a las emisiones adicionales causadas por la estrategias (Robledo, 2010).

$$C \text{ (potencial)} = C \text{ (en la adicionalidad)} - C \text{ (en la línea base)} - \text{fugas}$$

Para el caso de esta estrategia se tomaran como fugas las emisiones de $C0_2$ causadas por el transporte terrestre en las actividades programadas para la ejecución de la misma y las posibles emisiones causadas por los Incendios Forestales que se prevén hasta el 2015, para esta proyección se tomó la media de las hectáreas quemadas en los últimos diez años.

3.6.1 $C0_2$ del transporte terrestre

La categoría de fuentes móviles, transporte terrestre incluye todos los tipos de vehículos para servicio ligero, como automóviles y camiones para servicio ligero, y los vehículos para servicio pesado, como los tractores de remolque y los autobuses, y las motocicletas de ciudad (incluidos los ciclomotores y triciclos). Es posible estimar las emisiones a partir del combustible consumido (representado por el combustible vendido) o la distancia recorrida por los vehículos, en este caso se hace per el combustible consumido (IPCC, 2006).

$$\text{Emisión} = \sum [\text{Combustible}_a * \text{EF}_a]$$

Donde:

Emisión = Emisiones de CO₂ (kg)

Combustible = combustible vendido (TJ)

EF_a = factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.

a = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

3.6.2 Estimación de emisiones de gases de efecto de invernadero a causa del fuego

Las emisiones producidas por el fuego no incluyen solamente CO₂, sino también otros gases de efecto invernadero o precursores de éstos que se originan de la combustión incompleta del combustible. Entre estos se incluyen el monóxido de carbono (CO), el metano (CH₄), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y especies de nitrógeno (p. ej. N₂O, NO_x). Las emisiones (de CO₂ y no CO₂) producidas por incendios forestales se calculan con la siguiente expresión según (IPCC, 2006), aunque en este caso solo tendremos en cuenta las emisiones de CO₂.

$$L_{\text{fuego}} = A * M_b * C_f * G_{\text{ef}} * 10^{-3}$$

Donde:

L_{fuego} = cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego, toneladas de cada gas de efecto invernadero (GEI) (p. ej., CH₄, N₂O, etc.).

A = superficie quemada, ha

M_b = masa de combustible disponible para la combustión, toneladas ha⁻¹. Incluye biomasa, hojarasca molida y madera muerta. Cuando se aplican métodos de Nivel 1, entonces se supone que los depósitos de hojarasca y de madera muerta equivalen a cero, a excepción de los casos en los que hay un cambio en el uso de la tierra

C_f = factor de combustión, sin dimensión.

G_{ef} = Factor de emisión, g kg⁻¹ de materia seca quemada.

Nota: Cuando no se dispone de datos para M_b y C_f, se puede utilizar un valor por defecto para la cantidad de combustible realmente quemado (el producto de M_b por C_f).

3.7 Valoración económica

Se compararon los costos de las acciones propuestas en la estrategia de mitigación de los efectos del cambio climático en las plantaciones forestales, con los ingresos de las propias acciones de la estrategia; más el beneficio ambiental del secuestro de carbono, como un servicio ambiental que puede ser de gran importancia para la Empresa Forestal Integral Cienfuegos, siendo Cuba un país en vías de desarrollo.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 La biomasa como sumidero de carbono

De las plantaciones forestales distribuidas en formaciones boscosas que administra la empresa, las que más carbono almacenan en la biomasa tanto aérea como subterránea son los pinares, los bosques semicaducifolios sobre suelo ácido, los pluvisilvas de montaña, con una menor cuantía los semicaducifolios sobre suelo calizo y en última posición la manigua costera (Figura 4.1).

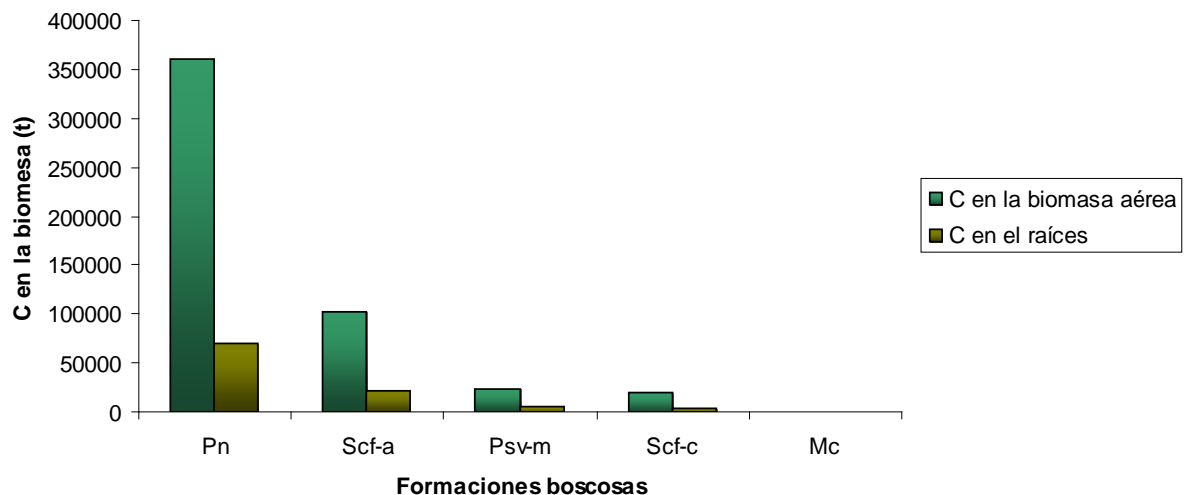


Figura 4.1. Carbono almacenado en la biomasa de las plantaciones forestales distribuidas en formaciones boscosas de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Los resultados muestran que las formaciones de mayor extensión superficial tienden a retener mayor cantidad de carbono total en la biomasa, tanto aérea como subterránea, ya que los bosques semicaducifolios sobre suelo ácido almacenan 101 382,34 tC en la biomasa aérea y 22 385,29 tC en las raíces, mayor que los pluvisilvas de montaña, los semicaducifolios sobre suelo calizo y la manigua costera, no así los pinares por lo que con menos superficie que los semicaducifolios sobre suelo ácido almacenan 360 394,97 tC en la biomasa aérea, 69 548,91 tC en las raíces. El carbono retenido por la biomasa, en por ciento, se muestra en la figura siguiente:

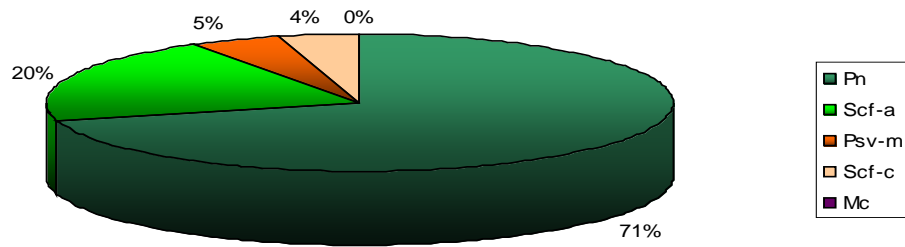


Figura 4.2. Retención de carbono por la biomasa total de los bosques artificiales en porciento de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

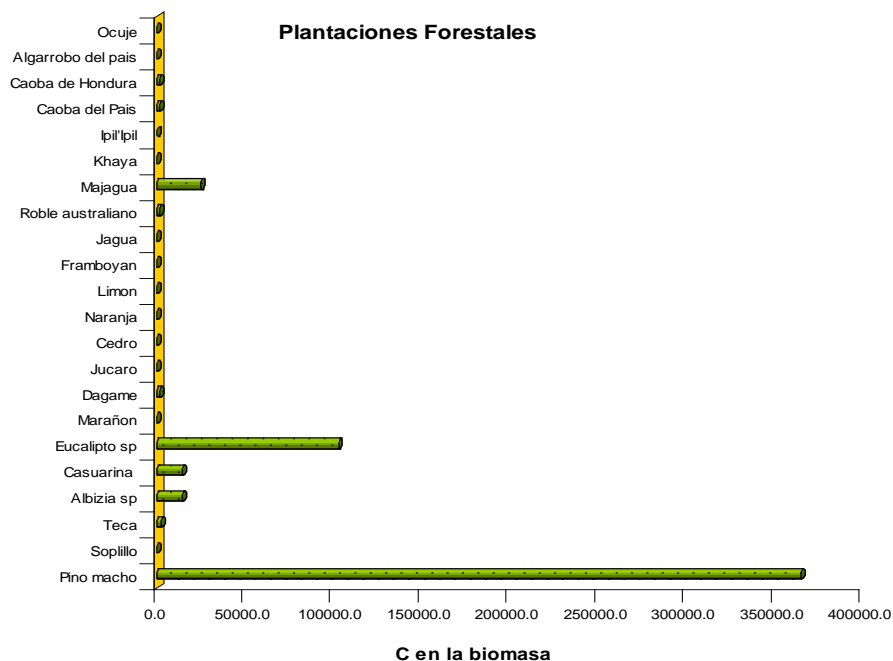
En la figura 4.2 se representa el predominio de los pinares con respecto a las demás formaciones para almacenar carbono atmosférico con un 71 % de retención. Esto es dado por la superioridad en superficie y las especies que la conforman con respecto a las restantes, ya que es precisamente esta formación la que más carbono secuestra por hectárea con 361,95 tC/ha, no ocurre con los semicaducifolios sobre suelo ácido que aunque tienen 1 586,9 ha más que los pinares no retienen mayor cantidad, dado que solo almacenan 44,60 tC/ha. Algo parecido pasa con los pluvisilvas de montaña que con 226,6 ha menos de superficie que los semicaducifolios sobre suelo calizo almacenan más cantidad de carbono total en la biomasa, dado que los pluvisilvas secuestran 95,41 tC/ha más que semicaducifolios sobre suelo calizo. Los demás valores lo muestra la tabla siguiente.

Tabla 4.1 Superficie y toneladas de carbono por hectárea en la biomasa de las formaciones de la Empresa Forestal Cienfuegos.

Formación boscosa	Superficie (ha)	C en la biomasa aérea	C en el raíces	tC/ha
Pinares	1188,0	360 394,87	69 598,41	361,95
B semicaducifolios ácidos	2 774,9	101 382,34	22 385,29	44,60
Pluvisilva de montaña	187,0	23 600,97	5 281,51	154,45
B.semicaducifolio calizos	413,6	20 008,3	4 408,99	59,04
Manigua costera	9,9	637,72	119,09	76,45

Estos valores están dentro de los rangos que señalan diferentes autores en otros estudios realizados como por ejemplo: El carbono retenido en la biomasa área de las formaciones boscosas de origen artificial alcanza los 506 024,20 t en 4 573,4 ha de superficie, o sea 110,65 tC/ha, estos valor se encuentran en el rango de 49 tC/ha a 86

tC/ha, reportado por Dauber, Terán y Guzmán (2001) para la biomasa aérea en bosques artificiales de la ecorregión de transición Chiquitano - Amazónica Boliviana; también Brown y Lugo (1982) citado por Lopera y Gutiérrez (2000) reportan contenidos de carbono en la biomasa aérea de árboles en los trópicos entre 20 -269 tC/ha.



Hacer el gráfico con los nombres científicos (*P.caribaea* ,*C.odorata*, ejemplo).poner las unidades

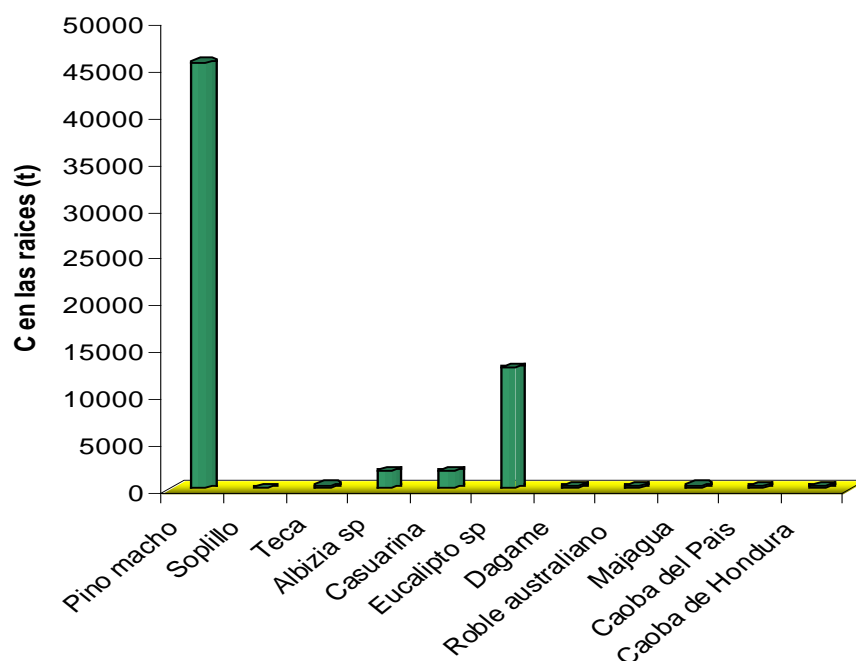
Figura 4.3. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de las plantaciones forestales en la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

En la figura 4.3 se destaca como las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* son las que mayor cantidad de carbono atmosférico acumulan en la biomasa aérea con 364 955,1 tC, siendo en superficie la segunda en la empresa y la *Eucalyptus sp* con 103 182,1 tC, ocupando la mayor cantidad de superficie con 2 467,1 ha, aunque estas últimas superan en área con 1 279,1 ha almacenan 261 773 tC menos dado por el manejo que se le dan a estas plantaciones, que es el de monte bajo ó tallar, por lo que explica este comportamiento ya que generalmente se cortan en turnos de 7 años para abastecer la demanda de madera para el tabaco, que necesitan altos volúmenes de madera para poder realizar sus campañas .Las plantaciones de *Hibiscus elatus* , la *Casuarina sp* y la *Albizia sp* oscilan en el rango de 14 000 a 26 000 tC y las demás

especies están por debajo en su retención dado que tienen menos representatividad en el patrimonio de la empresa (Anexo 1).

Por lo tanto la biomasa aérea de las plantaciones de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos retienen 111,6 tC/ha muy por encima que los resultados obtenidos por Rodríguez, (2005) de 78,16 tC/ha, una de las plantaciones que provoca que sea mayor el secuestro de carbono por hectárea es la de *Pinus caribaea* var. *caribaea* con 307,2 tC/ha ya las de la EFI La Palma solo almacenan 205 tC/ha, es decir 102,2 tC/ha menos.

La biomasa subterránea está relacionada directamente con la aérea, por lo que las especies que más carbono almacenan en la biomasa aérea, estas mismas son las que tienen la **vanguardia** en secuestrar carbono en la biomasa subterránea como se muestra en la figura 4.4.



Nombre científico

Figura 4.4 Retención de carbono en la biomasa subterránea de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* dado a sus incrementos medios anuales son las que más carbono atmosférico almacena en la biomasa subterránea con un total 45 619,4 tC, también las plantaciones de *Eucalyptus sp* alcanzan valores elevados en la retención de carbono con 32 721,6 tC en las restantes especies el carbono almacenan se encuentra por debajo de las 5000 t.

Las plantaciones de la EFI Cienfuegos almacenan en su biomasa 574 407,5 tC, en una superficie de 4 573,4 ha, estimándose una retención de 125,6 tC/ha que está muy por encima de las 63,2 tC/ha que retienen la biomasa de la Empresa Forestal Integral de la Palma según Rodríguez, (2005), también de las almacenadas por las Empresas Forestales Integrales Cienaga de Zapata, Ciego de Ávila y Baracoa con 49, 30,4 y 62,8 tC/ha respectivamente según Mercadet y Álvarez (2007), esta superioridad mostrada por las plantaciones forestales de la Empresa de Cienfuegos de almacenar mayor cantidad de carbono atmosférico viene dada por la calidad de los sitios donde se desarrollan los pinares, principalmente en las montañas de Cumanayagua que pertenecen al macizo montañoso de Guamuaya donde los rodales de *Pinus caribaea* var. *caribaea* alcanzan más de 400 m³/ha de madera, con un incremento medio anual de 18 m³/ha.

Las 574 407,5 tC acumuladas en la biomasa de las plantaciones forestales actualmente representaría el 6,5 % de las cuatro Empresas Forestales Integrales que se han estudiado en el país según Mercadet y Álvarez (2007).

Álvarez (2001) reporta para los bosques de Cuba un total de 723 577 000 tC, en este caso las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos representarían el 0,079 % del total nacional en 1 997.

4.2 Carbono en el suelo

El CO₂ y otros gases de efecto de invernaderos, actúan atrapando la energía calórica (radiación solar de onda corta) reflejada de la superficie de la tierra y las nubes. Este calor retenido puede conducir al calentamiento global en el planeta. A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosférico pueden reducirse en la misma medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. Si el carbono orgánico del suelo no es alterado, puede permanecer en el suelo por muchos años como materia orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido del fondo disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir los niveles de CO₂, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global Espinoza, (2005).

La vegetación contribuye al mejoramiento del suelo forestal y por tanto a la retención o secuestro de carbono en suelo. El carbono retenido por las plantaciones forestales distribuidas en formaciones se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Carbono almacenado en las bosques artificiales distribuidos en formaciones boscosas de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Formación Forestal	C en el suelo (t)
--------------------	-------------------

Pinares	146 12,4
Bosques semicaducifolios sobre suelo acido	341 309,5
Pluvsilvas de montaña	23 006,4
Bosques semicaducifolios sobre suelo calizo	50 877,2
Manigua costera	1 216,5
Total	56 253,9

De la tabla anterior se infiere que el suelo de los semicaducifolio sobre suelo ácido supera a las demás formaciones en la retención de carbono con un total de 341 309,5 tC, representando el 60,7 % del carbono almacenado en los suelos, aunque los pinares representan el segundo lugar con 195 186,1 tC menos los semicaducifolio sobre suelo ácido ocupan el 26 % de retención de carbono, esta diferencia es dada ya que los semicaducifolio sobre suelo ácido son los que mayor superficie con 2 774,9 ha, esto representa el 49,7 % del patrimonio, las demás formaciones juntas no sobrepasan el 15 %, así lo muestra la figura siguiente:

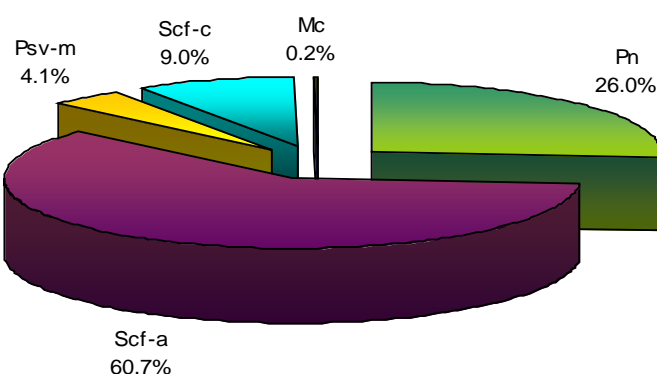


Figura 4.5 Porcentajes de acumulación de carbono en las formaciones boscosas de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

El carbono almacenado en el suelo de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos es de 562 532,9 tC, de ellas las plantaciones de *Eucalyptus sp* son las que más almacenan con 303 456,8 tC que representa el 53,9 %, dado que las plantaciones de *Eucalyptus sp* son las que más superficie ocupan en

la empresa dado a la importancia económica que representan para la obtención de cujes para tabaco, las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* secuestran 25,9 % con un acumulado de 146 123,4 tC, las demás plantaciones forestales secuestran el 20,2 % con un acumulado de 112 952,8 tC como se muestra en la figura siguiente:

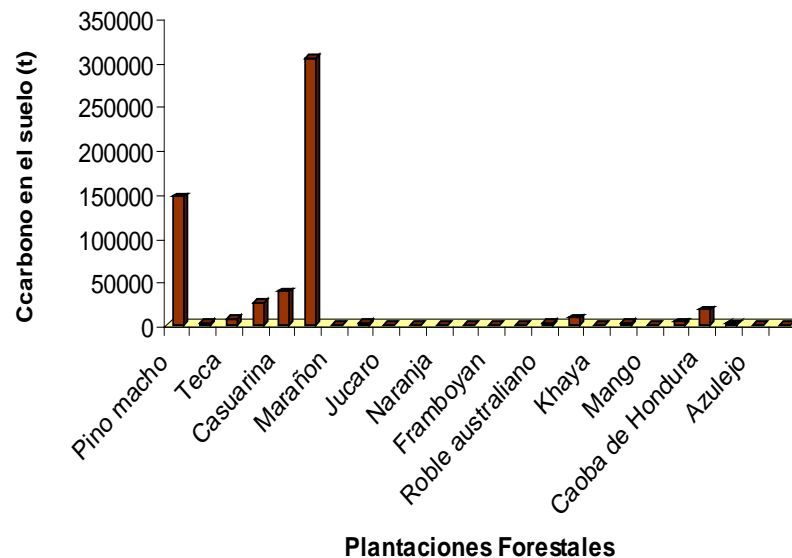


Figura 4.6 Almacenamiento de carbono en el suelo de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Los suelos de las plantaciones son los que mayor capacidad de retención de carbono presentan, si comparamos el carbono en la biomasa aérea con el carbono en el suelo, se retienen en el suelo 1,1 veces mayor que en la biomasa aérea, el cual no concuerda con el criterio de Moreno *et al* (2002) con respecto a que existe aproximadamente 3 veces más carbono en el suelo que en la vegetación, pero si despreciamos las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, si se cumple este criterio de 3 veces más el carbono en el suelo que en la biomasa, esto se explica ya que hay rodales de pino macho que tienen hasta 400 m³/ha y almacenan grandes cantidades de carbono en la biomasa.

4.3 Retención total de carbono

4.3.1 Retención de carbono en las formaciones boscosas

Las formaciones boscosas de la empresa almacenan más de un millón de toneladas de carbono atmosférico como se muestra en la figura siguiente.

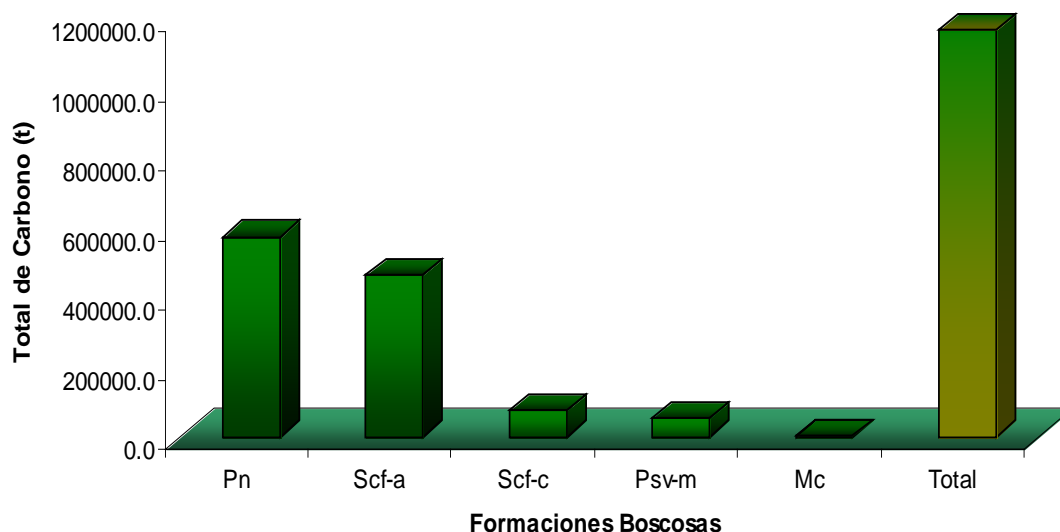


Figura 4.7 Retención total de carbono en las formaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

Como se muestra en la figura anterior las formaciones de pinares son las punteras en retención de carbono con 576 116,7 tC superando a los bosques semicaducifolios sobre suelo ácido en 111 039,6 tC, siendo esta formación la de mayor superficie ocupando 2 774,9 ha. Los bosques semicaducifolios sobre suelo calizo, los pluvisilvas de montaña y los de manigua costera almacenan menos cantidad dado a su poca representatividad en el patrimonio forestal, secuestrando 75 294,5 tC, 51 888,8 tC, 1 973,3 tC que representan el 6,4 %, 4,4 %, 0,2 % respectivamente como se muestra en la Figura 4,8, es decir estas tres formaciones solo almacenan el 11 %, mientras que los pinares almacenan el 49,2 % y los bosques semicaducifolios sobre suelo ácido el 39,7 %. Los bosques pluvisilvas de montaña aunque son los penúltimos en superficie con 187 ha son los segundos en almacenar toneladas de carbono por hectárea con 277,4, solamente superados por la de los pinares que es de 484,9 tC/ha, las demás formaciones solo almacenan menos de 200 tC/ha, esto se puede explicar debido a la calidad del sitio de estas formaciones, que es mejor que las demás, principalmente están en las montañas de Cumanayagua donde las precipitaciones son mayores y los suelos son mejores, las densidades de la madera de las especies que conforman los bosques pluvisilvas de montaña y pinares son muy superiores a las densidades de la madera del resto de las formaciones, así como a la cantidad de carbono en el primer metro de profundidad según Rodríguez (2005). Al respecto Díaz y Romero (2001), plantean que la cantidad de carbono capturado está estrechamente influenciada por factores tales como la densidad de la madera.

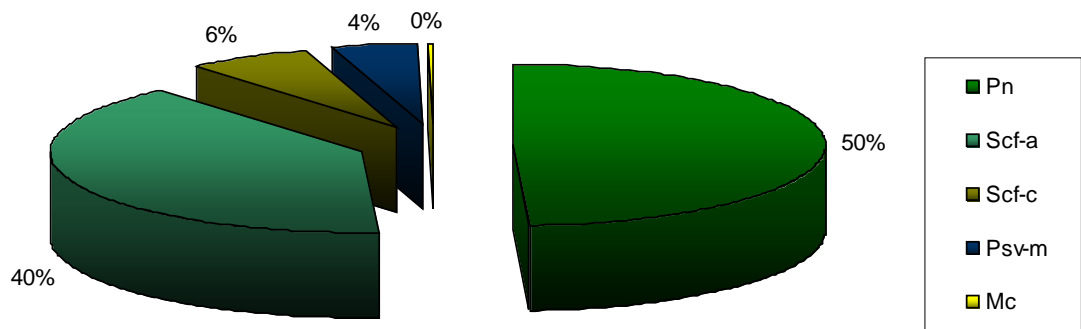


Figura 4.8 Representación de la retención total en las formaciones boscosas.

4.3.2 Carbono retenido por las plantaciones

El carbono retenido por las plantaciones forestales de la empresa superan el millón de toneladas de carbono atmosférico siendo las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* las primeras como se muestra la Figura 4.9.

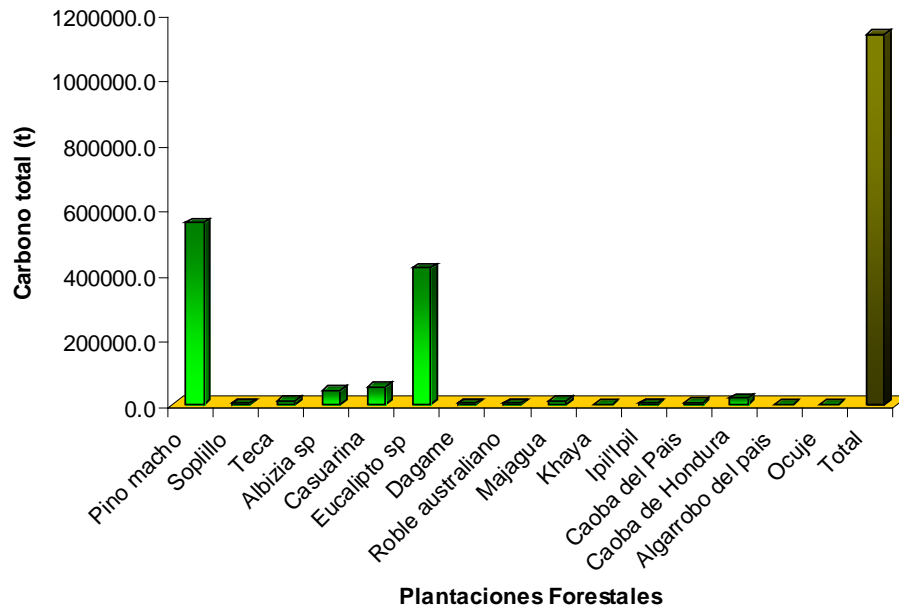


Figura 4.9 Carbono total secuestrado por las plantaciones forestales.

Las plantaciones en la EFI Cienfuegos acumulan un total de 1 136 940,4 tC, destacándose las plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Eucalyptus* sp con 556 697,9 tC y 419 536,7 tC respectivamente representando el 48,9 % y 36,9 % de las plantaciones forestales, por lo que estas dos plantaciones solas acumulan el 85,8 %, dejando solamente 14,2 % para las restantes plantaciones, donde las plantaciones de *Albizia* sp y *Casuarina* sp se destacan en este segundo grupo con 54 709,9 tC, 42 458,6 tC representando el 4,8 % y 3,75 %, las demás están por debajo del 1 %. Estos resultados arrojan que es de mucha importancia la superficie que ocupan las plantaciones ya que aunque haya especies que incrementen más en biomasa, si son de poca representatividad en el patrimonio tendrán valores bajos de retención, más aun cuando la metodología se basa en la densidad de la madera y la superficie.

Las plantaciones de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos almacenan 248,5 tC/ha por encima a los resultados obtenidos en la EFI de La Palma y de Ciego de Ávila dado que estas retienen 148,1 y 144,8 tC/ha Mercadet y Álvarez (2007), si exceptuáramos las plantaciones de pino las demás absorberían 171,4 tC/ha similar a las de la EFI Ciénaga de Zapata que acumulan 172,4 tC/ha según Mercadet y Álvarez (2007).

4.4 Proceso de fijación en los bosques

La forma principal por la que los bosques pueden contribuir al cambio climático es mediante la influencia de los niveles de CO₂ de la atmósfera, y por consiguiente, en el ciclo global de carbono, según Brown (1996) citado por Rodríguez (2005).

En el caso de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos se ha estimado la contribución de las plantaciones a la mitigación del cambio climático, que estas han secuestrado de la atmósfera 1 872 143,0 t CO₂, es decir que las plantaciones de la misma han adsorbido por hectárea 409,4 t CO₂, con respecto Corrales (1998), citado por Rodríguez (2005), obtuvo un estimado para su investigación en los bosques de El Salvador de (364,8 tC/ha). Confirmando el criterio universal de que los bosques son sumideros naturales de carbono como lo han defendido Emrich, Pokorny y Sepp (2002) y Brown (2002).

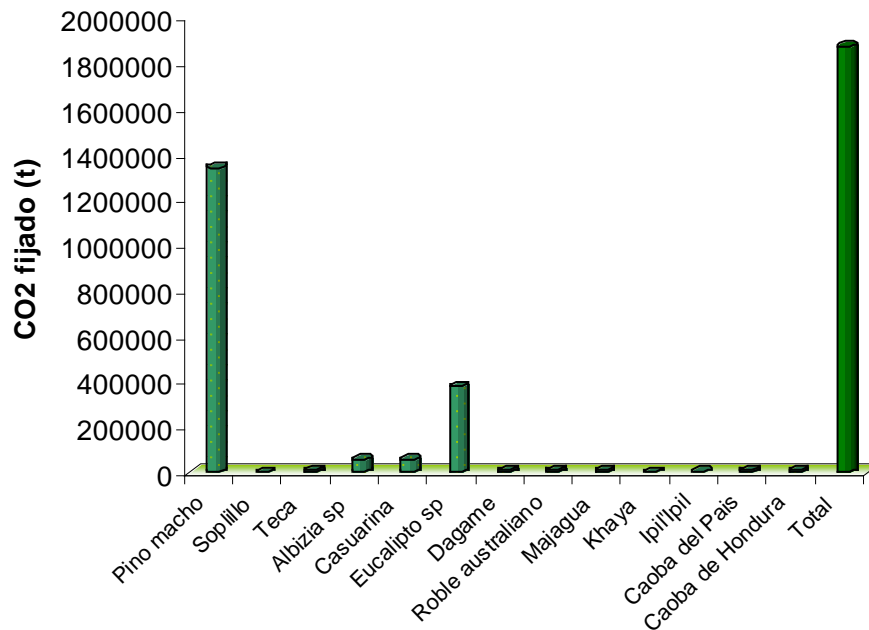


Figura 4.10 Las plantaciones forestales y su fijación de CO₂.

En esta figura se demuestra la superioridad de las plantaciones de pino con respecto a las demás para fijar carbono atmosférico, dado por la capacidad biológica intrínseca de ser una especie de crecimiento rápido debido a su carácter heliófilo, no tolerante a la excesiva competencia y además por poseer en su biomasa grandes cantidades de lignina que la hacen mucho más promisoría para cumplir con el objetivo de secuestro de carbono, aunque las plantaciones de mayor extensión son los que deberían fijar más CO₂, pero como se ha explicado en otros momentos que las plantaciones de *Eucalyptus sp* son las que más superficie ocupan, pero no las que más fijan dado al manejo que se le realizan en las mimas.

Por lo que es válido aclarar que la capacidad de absorción de carbono atmosférico también está relacionado directamente con el manejo que se le da a la masa boscosa, la variación en el clima y el incremento del CO₂ atmosférico (Brown, 2002).

4.5 Estrategia de mitigación en las plantaciones forestales establecidas de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos

La estrategia de mitigación para la Empresa Forestal Integral Cienfuegos en plantaciones forestales tendrá un punto de partida, que es aumentar la capacidad de secuestrar carbono atmosférico, implementando las medidas que se expondrán y cumpliendo con lo programado en el Proyecto de Ordenación. Tanto en áreas de su patrimonio como en las tierras ociosas entregadas para silvicultura intensiva que ascienden a 10000 ha, hasta el año 2015.

Objetivos:

1. Incrementar la retención de carbono en la empresa.
2. Conservar el carbono retenido en los bosques.
3. Disminuir las emisiones de dióxido de carbono.

Medidas adoptadas:

Para dar cumplimiento a los objetivos trazados se tendrán que cumplir las siguientes medidas.

- Para incrementar el carbono atmosférico una de las medidas sería la creación o ampliación de sumideros de carbono, en este caso la reforestación, esta actividad se proyecta como se muestra en la (tabla 4.3) hasta el año 2015, dado a que la empresa tiene 1 041,7 ha desforestadas, estas deben ser plantadas con especies de crecimiento rápido como el *Pinus caribaea*, el *Eucalyptus sp* y *Acacia mangium*, debido a que estas especies tienen un buen incremento en biomasa en otras plantaciones establecidas de la empresa, en especial esta última en los suelos más compactados y erosionados como los recibidos para la silvicultura intensiva provenientes de Pecuaria y el Minaz, otras de las razones por lo que se recomiendan estas especies va dado por el objetivo de las plantaciones, que es madera para aserrío y postes de servicio público. Estas medidas también benefician el almacenamiento de carbono en el suelo, estos suelos cubiertos de plantaciones aportarían materia orgánica y aumentarían los niveles de carbono en el mismo según Bashkin y Binkley (1998), midieron los cambios en el suelo en estudios realizados de carbono en el cambio del uso de suelo total luego de 10-13 años de haber establecido una plantación de *Eucalyptus saligna* sobre terrenos que estuvieron cultivado con caña de azúcar en Hawaii, encontrando que hubo un incremento de 11,5 tC/ha por causa de la plantación.

Tabla 4.3. Volumen de las plantaciones total y anual para la Empresa y su desglose por U.E.B. Silvícola hasta el año 2015.

Área total y proyectada	Desglose de las superficies por diferentes conceptos			
	Áreas desforestadas	Áreas de silvicultura intensiva	Áreas que serán taladas	TOTAL
Área total para Plantaciones	1 041,7	10 000,0	396,2	11 437,9

Área proyectada para 5 años	208,34	2 000,0	79,24	2 287,58
Desglose anual por U.E.B.				
Rodas	82,7	500,0		582,7
Cumanayagua	25,6	300,0	54,9	380,5
Cienfuegos	73,0	700,0	6,2	779,2
Abreus	27,0	500,0	18,1	545,1

- Otra de las medidas para incrementar el carbono será un adecuado uso de los tratamientos silviculturales, ya que cuando se apliquen los tratamientos en el tiempo requerido se obtendrán mayores incrementos en biomasa y es uno de los problemas que ha estado presentando la Empresa Forestal Integral Cienfuegos, que varias de las plantaciones tienen densidades por encima de 0,9, (ver Tabla 4.4); lo cual ejecutando los manejos a las plantaciones de acuerdo con el proyecto de ordenación por el concepto de los surtidos que se obtendrán reportarían alrededor de 586 176,6 m³ que tendría intrínseco unas 376 798,4 tC, permitiendo un mayor incremento en la masa forestal dado que las especies tendrán un mayor desarrollo al no estar oprimidas por estas altas densidades de plantas en los rodales.

Tabla 4.4. Área y volumen de las especies por encima de 0.9 de densidad en las U.E.B. Silvícolas de la EFI Cienfuegos.

Unidades			Densidad	
Abreus	Especie		0,9	1
	<i>Eucalyptus sp</i>	Área		11,9
		Volumen		3 398,0
	<i>Pinus caribaea</i> o	Área		58,9
		Volumen		27 438,6
Cienfuegos				
	<i>Casuarina sp</i>	Área	1,9	
		Volumen	105,3	
	<i>Eucalyptus sp</i>	Área	4,4	
		Volumen	195,8	
Santiago de Cartagena				
	<i>Eucalyptus sp</i>	Área	21,3	21,7
		Volumen	2 534,6	8 566,9
Cumanayagua				
	<i>Albizia sp</i>	Área	26,4	
		Volumen	7 267,2	
	Júcaro	Área		1,0

	Volumen		105,2
<i>Casuarina</i>	Área		1,4
	Volumen		142,1
<i>Eucalyptus sp</i>	Área	16,7	32,9
	Volumen	4 495,5	13 987,3
<i>Grevilia robusta</i>	Área		13,1
	Volumen		3 151,3
<i>Leucaena leucacephala</i>	Área	8,2	
	Volumen	789,2	
<i>Pinus caribaea</i>	Área	1,4	959,4
	Volumen	222,6	513 488,6
<i>S.mahaginii</i>	Área	10,2	11,0
	Volumen	980,5	1255,3
<i>Tectona grandis</i>	Área		7,0
	Volumen		1 204,0

- Además es importante cumplir con los turnos de corta de las plantaciones, por lo que los árboles cuando llegan a su clímax apenas incrementan en biomasa, si se aprovechan y se vuelven a plantar se almacenará más carbono, contribuyendo a la fijación de CO₂ que tanto está afectando a nuestro planeta.
- Para la conservación del carbono las medidas están encaminadas a impedir o reducir las emisiones, en este caso el control y prevención de los incendios forestales ya que dado a los extensas sequías las probabilidades de incendios es alta y pueden afectar tanto como las plantaciones como las formaciones naturales, según la FAO (2001), las prácticas de control de incendios pueden favorecer la conservación de las existencias de carbono en los bosques. Es de suma importancia cumplir con los Planes Contra Incendios en el tiempo planificado y con la calidad requerida de todas las actividades que lo conforman.
- Una de las principales causas de emisión de dióxido de carbono a la atmósfera en la empresa es por la quema de biomasa obtenida del desbroce de marabú (*Dichrostachys cinerea* (L) Wight et Arn) en las áreas a plantar, especie que tiene infestado las áreas del patrimonio que están desforestadas, además las áreas que la empresa planta fuera del patrimonio también están infestadas por esta especie que anualmente están alrededor de 350 ha como promedio cada año, que según Vienes et al.(1971) citado por Manso ,J. (2000) cuantificó 1,658 kilos de CO₂ por tonelada de combustible quemado, por lo cual anualmente se queman 6 125 t de biomasa de marabú emitiendo unas 10,2 t de CO₂ que se pudieran utilizar como leña para combustible o para la confección de carbón tanto de consumo nacional o

para exportación, generando ingresos a la empresa y disminuyendo las emisiones, dado que aunque en la combustión de la confección de este carbón vegetal se emitiría dióxido de carbono , pero no altera el balance de concentración de este gas, puesto que lo capturaron de la atmósfera estos arbustos, no así el consumo de energía a partir de la quema de hidrocarburos que seguirían alterando el balance de dióxido de carbono en la atmósfera de nuestro planeta, en muchos países , se está volviendo a promover la madera como una fuente de materia prima y energía renovable al régimen climático, según Schroeder, Yanuariadi y Ma (2010), en Brasil los residuos de la explotación de la madera ascienden a 600 millones de toneladas por año, que podría utilizarse para generar 36 000 megavatios de electricidad.

- Otra alternativa es acordonamiento, cultivos asociado para facilitar la descomposición y establecer bancos de materia orgánica, luego plantar especies forestales a ambos lados, una variante sería la caoba de hondura (*Swietenia microphylla*) que presenta buenos incrementos en estas condiciones donde hay grandes acumulaciones de materia orgánica.
- Se recomienda incrementar la vigilancia en las plantaciones forestales de cada UEB Silvícola de la empresa dado a la vulnerabilidad a las plagas por efecto del cambio climático. Es necesario coordinar en la provincia con Sanidad Vegetal la prospección de las plagas que mostraron la mayor tendencia de afectar el patrimonio forestal cubano en el futuro. Quizás la mayor afectación en Cuba se produzca en las zonas que históricamente han padecido de largos períodos de sequía (López, 2011). Se ha planteado que en las áreas que padecen estrés hídrico, las personas y los ecosistemas son particularmente vulnerables a una disminución o a una mayor variabilidad de la precipitación por efecto del cambio climático (Bates *et al*, 2008).

4.6 Carbono potencial

El potencial de absorción de carbono para el 2 015 será de 36 177,8 tC, demostrando que la estrategia proyectada es positiva, destacando que solamente se proyectó para cinco años, dado que el proyecto de ordenación se tiene que actualizar en el 2 015, lo ideal sería para veinte años , es decir llevar las especies plantadas en la estrategia a su turno de corta, trayendo consigo un aumento en el carbono potencial dado que las

plantaciones forestales tendrían la posibilidad de transitar por sus diferentes estados de desarrollo.

El carbono en la adicional para la estrategia es de **1 325 639,4 tC** como se muestra en la Tabla 4.5, mostrando la capacidad de capturar carbono en tan poco tiempo, señalar que los incrementos medios anuales que se tomaron para hacer estos cálculos se obtuvieron en los registros del proyecto de ordenación de la empresa.

Tabla 4.5 Sumidero de carbono con las actividades propuestas en la estrategia para la Empresa forestal Integral Cienfuegos.

Área Total (ha)	Carbono almacenado en las plantaciones	Carbono almacenado (t) por años					Totales de carbono
		2011	2012	2013	2014	2015	
11437,9		26250	26250	26250	26250	26250	
Área anual (ha)			26250	26250	26250	26250	
				26250	26250	26250	
					26250	26250	
2287,58						26250	
Sub totales de carbono (t)						26250	
		26250	52500	78750	131250	131250	420 000
Total de carbono extraído en los tratamientos							75 909,8
Total de carbono del IMA de las plantaciones establecidas							263 553,6
Total de carbono almacenado en el suelo en áreas no cubiertas							434 640,2
Total de carbono incrementado en el suelo							131 535,8
Total de carbono							1 325 639,4

Las emisiones adicionales (fugas), provocada por el transporte y los incendios proyectados se muestran en la tabla 4.6, para el caso de los incendios forestales se prevé 225,1 ha de ocurrencia, sacado de la media de los últimos diez años dado que se ha incrementado por los largos períodos de sequía provocados por los propios cambios climáticos; por esta causa se emitiría 145 414,5 t de CO₂ total, que por hectárea sería 129,2 t de dióxido de carbono que concuerda por la media obtenida en el estudio realizado de emisiones de gases producto los incendios de 129 t de CO₂ en Cuba entre 1989 y 1999 según Manso (2000), este número de 129,2 t de CO₂ puede variar de acuerdo con el cumplimiento de los planes contra incendio que tiene la empresa y la vigilancia del Cuerpo de Guardabosques y guarda campos establecidos por municipios y zonas en la provincia, también las variables meteorológicas tendrán su incidencia dado al aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones que por lo previsto cada año que pase pueden agravarse. En cuanto a las emisiones derivadas del transporte, el combustible se calculó por los índices de consumo de la maquinaria actual para realizar las

actividades expuestas en la estrategia de mitigación, dando un total de 7 106,5 t de CO₂.

Tabla 4.6 Emisiones de CO₂ en la estrategia propuesta para las plantaciones de la EFI Cienfuegos.

Causas de las Emisiones	Emisiones dentro de la Estrategia (fugas)					
	2011	2012	2013	2014	2015	Sub total
Transporte (t CO ₂)	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	7 106,5
Incendios (t CO ₂)	29 083,0	29 082,9	29 082,9	29 082,9	29 082,9	145 414,5
Total						152 521,0

4.7 Valoración económica

Para la ejecución de la estrategia la empresa tendría un costo de 50 044 624,4 pesos en moneda nacional como se muestra en la tabla 4.7, destacar que la propuesta de confeccionar carbón vegetal a partir de marabú se calculó el costo a un 50 % de aprovechamiento del volumen total dado que a veces se dificulta obtener la madera de los cordones del desbroce.

Tabla 4.7 Costos proyectados para la realización de las medidas propuestas en la estrategia para la EFI Cienfuegos.

Costos proyectados en las actividades de la estrategia desde el 2011-2015.		
Actividades	Unidades	Costos (cup)
Reforestación	ha	Pesos
Preparación de tierra	11 437,9	9 280 131,5
Plantación		5 855 133,5
Mantenimiento		1 379 220,0
Fertilización		16 514 485,0
Poda		758 571,0
Sub total	11 437,9	3 378 7541,0

Tratamientos	Ha	Pesos
Limpia y Aclareo	2 198,0	1 978 200,0
Raleo I,II,III	1 208,8	1 027 480,0
Poda	128,0	70 400,0
Sub total	3 534,8	3 076 080,0
Aprovechamiento del marabú	T	Pesos
Elaboración de carbón	1 4011,4	11 545 413,4
Medidas contra incendios	Km	Pesos
Construcción de trochas	2 973,8	1 635 590,0
Costo total		50 044 624,4

Las actividades propuestas en la estrategia hasta el año 2 015 tendrán un ingreso total de 38 028 781,3 pesos, para los manejos proyectados se calculó los ingresos con una bonificación del 30 % del costo planificado, que es la mayor expresión que bonifica el Servicio Estatal Forestal (Tabla 4.8). Como se muestra en esta misma tabla la estrategia tendría una pérdida de 12 015 843,1 pesos dado que solo se reintegrarían los costos de las plantaciones de los dos primeros años, es decir que para el año 2 018 ya se certificarían todas las plantaciones donde se reportarían ganancias de 10 136 262,3 pesos y 23 123 199,5 pesos de ganancia total para la estrategia.

Tabla 4. 8 Análisis de la rentabilidad de la estrategia proyectada para la EFI Cienfuegos.

Actividades	Costos (cup)	Ingresos (cup)	Ganancia (cup)
Reforestación	33 787 541,0	8 784 760,7	-25 002 780,3
Tratamientos			
Limpia y Aclareo	1 978 200,0	2 571 660,0	593 460,0
Raleo I,II,III	1 027 480,0	1 335 724,0	308 244,0
Poda	70 400,0	91 520,0	21 120,0
Aprovechamiento del marabú			
Elaboración de carbón	11 545 413,4	23 118 849,6	11 573 436,2
Medidas contra incendios			
Construcción de trochas	1 635 590,0	2 126 267,0	490 677,0
Total	50 044 624,4	38 028 781,3	-12 015 843,1

Además de las utilidades que pudiera generar la estrategia financieramente,

generarían beneficios conjuntos de mayor biodiversidad, mejor calidad del agua, conservación de los suelos y oportunidades de trabajo. Ahora si cuantificáramos el valor de los servicios forestales en los proyectos de “agricultura, silvicultura y otros uso de la tierra” (ASOUT) en los cuales se incluyen los proyectos de Forestación y Reforestación, como un pago por Servicios Ambientales por los créditos de CO₂ para plantaciones forestales, el precio es de UU\$ 8,20 por tonelada según Cullen y Durschinger (2010), lo que para esta estrategia la utilidad sería de UU\$ 10 870 243,1 por el carbono en la adicionalidad.

V Conclusiones

- ✓ La biomasa forestal total de las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos constituye un importante sumidero de carbono, ya que la misma almacena 574 407,5 tC.
- ✓ Los suelos de las plantaciones forestales de la empresa forestal retienen 562 532,9 tC, siendo los que más carbono almacenan en el patrimonio.
- ✓ Los resultados sugieren que la vegetación arbórea de la entidad en estudio, ha contribuido a reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera con la absorción de 1 872 143,0 t CO₂ del referido gas de efecto invernadero.
- ✓ Con la implementación de la estrategia la Empresa Forestal Integral Cienfuegos podrá en los próximos cinco años tener un potencial de absorción de carbono de 36 177,8 tC, lo cual sería un importante aporte a la mitigación del calentamiento global.

VI Recomendaciones

- ✓ Que se proyecte la estrategia para todo el patrimonio de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

VII Bibliografía

- Álvarez, A., Alicia Mercadet. 2010. Muerte regresiva del bosque: Principales riesgos para Cuba. INFORME FINAL DE RESULTADO. Instituto de Investigaciones Forestales (IIF). La Habana, CUBA. 21p.
- Althof, P.1999. Field test of carbon monitoring methods in forestry projects. Winrock International. Arlington 70p.
- Álvarez B, A. 2001. Proyecto: El Cambio Climático y el Sector Forestal. Proyecto Ramal de Ciencia y Técnica. Instituto de Investigaciones Forestales. 16 p.
- Acosta, M. y J. Etchevers D. 2005. Los sumideros de carbono: una alternativa para el cobro de servicios ambientales. En: Benavides-Solorio et al. (Eds.) Contribución al estudio de los servicios ambientales. Programa de investigación en servicios ambientales. Libro técnico No. 1. Campo experimental centro altos de Jalisco, INIFAP-CIRPAC, Jalisco, México. 129-142p.
- Alfaro. M., M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Forestal Centroamericana. Año 6 (19): 9-12, abril-junio. (En Línea). Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/es/conserv/psa.htm> (Consulta: 10 de marzo del 2005).
- Brown, S.; Sathaye, J.; Cannel, M. y Kauppi. P.E. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. Commonwealth Forestry Review 75p.
- Beaumont Roveda. 1999. El Protocolo de Kyoto y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Nuevas Posibilidades para el Sector Forestal de América Latina y El Caribe. Departamento de Montes, FAO, Roma Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe.99p.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds., 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 p.
- Barres H. 1993. Carbon -fixing and timber production in tropical Klinki pine forest plantations .The Klinki pine Project. (En Línea). Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/es/conserv/psa.htm> (Consulta: 8 de marzo del 2005).
- Brown, S.1996.A Primer for Estimating Biomass and Biomass Change in Tropical Forest. FAO. Cornavallis, Oregon 40p.
- Bashkin, M. A y Binkley, D.1998. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. Ecology 79 (3):828-823. (En Línea).Disponible

en: <http://www.FAO.org/docrep/003/y0900s/y0900s06.htm> (Consulta: 20 de marzo del 2007).

- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*. (116):363-372p.
- Bass, A.; Lugo, A.; Sathaye, J.; Brown, S. 2001. Situación de los bosques del mundo. (EnLínea). Disponible en: <http://www.FAO.org/docrep/003/y0900s/y0900s06.htm> (Consulta: 20 de marzo del 2007).
- Brown, S. y Lugo, A. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and thier role in global carbon cycle. *Biotropica* (14): 161-187 p.
- Batjes, N. H. y Sombroek, W. G. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soil. *Global environmental*. New Jersey: Prentice-Hall. 376 p.
- Castro Rúz, Fidel 2007. Reflexiones del Comandante en Jefe. La tragedia que amenaza a nuestra especie. (En Línea). Disponible en: <http://www.cuba.cu/gobierno/discursos/> (Consulta 25 de abril del 2007).
- Chávez, G. y Lobo, S. 2000. El pago de los Servicios Ambientales en Costa Rica. Información general. (En Línea). Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/es/conserv/psa.htm> (Consulta: 10 de marzo del 2005).
- CITMA 1999. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases Invernadero, Año base 1990, Habana, 26p.
- CCX (Chicago Climate Exchange) 2006. CCX Market report. Volumen iii, Banco Mundial, Washington D.C. (En Línea). Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/es/conserv/psa.htm> (Consulta: 16 de abril del 2007).
- Cuellar y Herrador, 2000. Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centro América: Los casos de Costa Rica y El Salvador. 24 p. Disponible <http://iisd.ca/trade/knownet.htm>. (Consulta 20 de abril del 2009).
- Chandler, F. J. C. 2004. Market markets for forest communities: linking communities, market, and conservation in the Asia –Pacific-Region- the RUPES project. En: *Proceedings of the Seoul Workshop on Forest for Poverty Reduction: Opportunities whist Clean Development Mechanism, Environmental services and Biodiversity*.
- Centella, A; J. Llanes; L. Paz (2001): Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 p.
- Calderón, M. M. 2002. Opportunities and challenges for a carbon market for the

Philippine Forestry Sector. Journal of Environmental Science and Management 4(1-2): 14-28p.

- CONAFOR, 2009. Servicios ambientales: Servicios ambientales en México. www.conafor.gob.mx. (20 de Agosto de 2010).
- Cerri, Volkoff, y Andreux (1991). Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation near Manaus. Forest Ecology and Management (38): 247-257p.
- Colectivo de Autores. Estrategia Ambiental Provincial. Unidad de medio Ambiente, Cienfuegos 2010. 1-10p.
- Cullen y Durschinger, 2010. Con medidas reguladoras y normas confiables se apoya el crecimiento. Revista Actualidad Forestal Tropical. 9p.
- Díaz F., S. X. y Molano M., M. A. 2001. Cuantificación y Valoración económica de la Captura de CO₂ por plantaciones del género *Eucalyptus* Establecidas por el Preca en las Cuencas carboníferas de César. Valle de el Cauca-Cauca y altiplano Cundiboyacense. IUFRO-RIFALC: Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono, 16-20 de julio. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. 18p.
- Dauber, Terán y Guzmán (2001). Estimación de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. IUFRO-RIFALC: Taller internacional sobre secuestro de carbono; 16-20 de Julio. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. 17p.
- Danley *et al.* (1997). The distribution of organic carbon in major components of forest located in five life zones of Venezuela. Journal of Tropical Ecology. (13): 697-708p.
- Emrich, A.; Pokorny, B. y Sepp, C. 2002. Investigación de los bosques tropicales. Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. Eschborn. Ed: GTZ. 98p.
- Espinoza, Y. 2005. Secuestro de Carbono en el Suelo. 8p.
- FAO. 2001. Situación de los Bosques del Mundo 2001. Ediciones FAO. Roma. 175p.
- Gómez, F. y Echeri, L. 2000. Climate Change and Development. Yale School of Forestry & Environmental Studies and UNDP. 427p.
- Gayoso (2001). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono., 16-22 Julio. Universidad de Los andes. Mérida, Venezuela. 9p.
- Grace, L.; Malhi, Y.; Lloyd, J.; McIntyre, J.; Miranda, A. 1996. The use of hedí

covariance to infer the net carbon dioxide uptake o brazilia rain forest. Global Change Biology 2: 209-217p.

- Hamburg, Steven P. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. Mitigation and adaption strategies for global change, 5, 25–37.SCIRUS. Secuestro de carbono en bosques- El papel del suelo.(En Línea).Disponible en <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticuloss.asp?IDArticulo=1127>(Consulta: 20 de abril del 2007.
- Hoen, H. y Solberg, B. 1994. Potencial and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. Forest Science. 40 (3): 429-451p.
- Holmgren, P. 2010. Una alianza de U\$ 35 millones tiene como objetivo establecer estrategias para la ordenación sostenible de los bosques tropicales. Revista Actualidad Forestal Tropical.17p.
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- INSMET. 1990. República de Cuba. Inventario Nacional de emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero. La Habana. Ed: GEO. 715p.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007-Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the IPCC. 973p.
- IPPC. 2001. Climatic Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers, 18 p.
- Jandl, R. 2001. Secuestro de Carbono en bosques. El papel del Suelo. IUFRO-RIOFALC: Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono., 16-20 julio. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 9p.
- Johnson, S,;Ma, O,y Mansur, E. 2010. Cambio del clima para los bosques tropicales. Revista Actualidad Forestal Tropical.32p.
- Kirklund, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. Unasylva 43 (163): 12-14p.
- Lopera y Gutiérrez (2000). Viabilidad Técnica y Económica de la Utilización de Plantaciones de *Pinus patula* como sumidero de CO₂. Trabajo de grado presentado como requisito parcial como requisito para optar al título de

ingenieros forestales. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. 143p.

- Logan, J. A., J. Régnière, and J. A. Powell. 2003. Assessing the impacts of global climate change on forest pests. *Front. Ecol. Environ.* 1: 130-137p.
- López, C., 2011. La vulnerabilidad de las localidades boscosas de Cuba a las plagas por efecto del Cambio Climático. 5to Congreso Forestal de Cuba. Palacio de las Convenciones .La Habana.4p.
- Locatelli, Bruno. 2006. Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. Documento de respaldo para la primera reunión del Proyecto TroFCCA. (Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático) CIRAD-CATIE, Abril 2006.
- Mercadet, A. y Álvarez, A. 2005. Metodología para el establecimiento de la línea base de retención de carbono por las empresas forestales de Cuba. Inf. Final del Subproyecto 11.25.03. Programa Ramal de Medio Ambiente, MINAG. 27 p.
- Mannan, A.; Kitayama, K.; Lee, F.; Chung, A, y Lagan, P. 2008. El bosque de Deramakot muestra los efectos positivos de la extracción de impacto reducido en la conservación. *Revista Actualidad Forestal Tropical*. 7p.
- Moreno C., Elvia; Guerrero P., A .; Gutiérrez C., María del Carmen; Ortiz S., C. A. y Palma L., J. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*. Vol. 8. Número especial (1): 115-128p.
- Mercadet. A y Álvarez, A. 2007. Cambio Climático: estudios de impactos y mitigación en el sector forestal cubano. *Revista de la Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF)*. 48p.
- Martínez DE Saavedra J.; G. Sánchez. 2001. El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los sistemas forestales españoles. *Memorias del Congreso Forestal Español*.
- Makundi, W.; Rozali, W.; Justin J.; D. y Cyril, P. 1999. Los bosques tropicales en el Protocolo de Kyoto. *Actualidad Forestal Tropical*. 6 (4): 5.
- Manso, J. 2000. Emisiones de gases y partículas producto de los incendios forestales en Cuba entre 1989 Y 1999. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. I. Meteorología. CITMA.
- Malhi, Y. ; Nobres, A; Grace, J.; Kruijt, B.; Pereira, M. 1998. Carbon dioxide transfer over a central amazonia rain forest. *Journal of Geophysical Research* 103. (D24): 31593-31612.
- Moura -C.; P. 2001. La Convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades

forestales. Unasylva. Vol. 52 (206): marzo. 34-40p.

- Nabuurs, G.J. y Mohren, G.M. 1995. Modelling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types. Canadian Journal of Forest Research 25: 1157-1172p.
- Ortiz, R. 1997. Costa Rica secondary forest: an economic option for joint implementation initiatives to reduce atmospheric CO₂. Draft paper presented for inclusion in the Beijer Seminar in Punta Leona. Costa Rica. 19p.
- Putz F.E., Zuidema P.A., Pinard M.A., Boot R.G.A., Sayer J.A., 2008. Improved Tropical Forest Management for Carbon Retention. PloS Biol 6 (7): e166 doi:10.1371/journal.pbio.0060166.
- Philips, O., Malhi, Y .; Higuchi, N.; Laurence, W.; Núñez, P .; Vásquez, R.; Brown, S. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots. Science. 282: 439-442p.
- Rubin, A. 2007. La deforestación tropical y el cambio climático. Revista Actualidad Forestal Tropical. 28p.
- Ramírez, Gómez y Schultz, S. 1997. Valuing the contribution of plantation forestry to the national account of Costa Rica. 28p.
- Robledo, 2010. ¿Por qué hay tan pocos proyectos forestales en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio?. Revista Actualidad Forestal Tropical. 3p.
- Ramírez, O.A. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Revista Forestal Centroamericana. No 27. julio-Septiembre 17-22p.
- Rodríguez, J. y Corrales, L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en los bosques de la República de El Salvador. Septiembre. 37p.
- RUPES, 2002. Primer on Developing Mechanisms for Rewarding the Upland Poor in Asia for Environmental Services they Provide. World Agroforestry Centre, Los Baños, Laguna, Filipinas.
- Rodríguez, J.L. 2005. Estrategia de mitigación del cambio climático para la EFI La Palma. Tesis en opción al título académico de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. 80p.
- SEF. 2009. Dinámica Forestal. Provincia: Cienfuegos.
- Segura, M. 2001. Estimaciones de carbono en ecosistemas forestales: los aportes de los modelos de biomasa. CATIE. Curso Internacional 24-28 septiembre.
- Schroeder, Yanuariadi y Ma, 2010. Los bosques pueden proporcionar una

fuelle (carbano neutral) de energía renovable para los países tropicales. Revista Actualidad Forestal Tropical.12p.

- State of the World's Forests 2011, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2011.
- Sukhdev, P. 2010. La economía de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales. Revista Actualidad Forestal Tropical. 8p.
- Sancho y Pratt.1999. Estimación del Costo Marginal de los Servicios de Fijación de Carbono en Costa Rica. 30p.
- Tipper, R. 1998. Avances en la compensación de las emisiones de carbono. Actualidad Forestal Tropical. 6 (1): 2-4p.
- UNEP y UNFCCC. 2001. Climate Change. Information Kit. 30p.
- Van Noordwijk,M. 2007. World Bank-supported GHG emission reduction projects in the Philippines. Referencia: 05/09/07.
- Vila, I, Inédito. Informe Final Subproyecto 11.69.02. Vulnerabilidad de los bosques naturales a las plagas forestales bajo la influencia del cambio climático. Primera aproximación. Instituto Investigaciones Forestales, C. Habana. 10 p.

ANEXOS

Anexo 1. Retención y fijación de carbono en las plantaciones forestales de la Empresa Forestal Integral Cienfuegos.

Especies	Área (ha)	C en la biomasa aérea (t)	C en las raíces (t)	C en el suelo (t)	CO ₂ (t)
<i>Pinus caribaeae</i>	1 188	364 955,1	45 619,4	146 123,4	1 338 168,6
<i>Lysiloma bahamensis</i>	20,3	116,2	14,5	2 498,1	426,2
<i>Tectona grandis</i>	54,5	2 523,4	315,4	6 706,5	9 252,5
<i>Albizia</i> sp	211,3	14 636,1	1 829,5	25 993	53 665,7
<i>Casuarina equisetifolia</i>	310,8	14 648,6	1 831,1	38 230,2	53 711,5
<i>Eucalyptus</i> sp	2 467,1	103 182,1	12 897,8	303 456,8	378 334,4
<i>Anacardium occidentale</i>	1,3	1,0	0,1	163,5	3,7
<i>Calycopylum candidissimun</i>	15,5	1 648,2	206	1 911,4	6 043,4
Júcaro	1,1	74,5	9,3	131,6	273,3
<i>Cedrela odorata</i>	0,9	4,7	0,6	113,2	17,2
Naranja	3,1	3,0	0,4	375,9	11
Limón	1,6	1,5	0,2	193,1	5,7
<i>Delonix regia</i>	0,5	32,05	4	61,5	117,5
<i>Genipa americana</i>	2,2	49,4	6,2	271,8	181
<i>Grevilia robusta</i>	16	1 740,0	217,5	1 964,3	6 380,1
<i>Hibiscus elatus</i>	67,1	2 453,3	306,7	8 257,1	8 995,5
Khaya	2,7	102,6	12,8	330	376,1
<i>Leucaena leucacephala</i>	16,4	574,4	71,8	2 023,1	2 106,1
<i>Mangifera indica</i>	5	48,6	6,1	621	178,3
<i>Swietenia mahagoni</i>	34,1	1 856,2	232	4 191,3	6 806
<i>Swietenia macrophylla</i>	144,7	1 804,0	225,5	17 793,7	6 614,7
<i>Samanea saman</i>	7,6	60,9	7,6	937,3	223,5
<i>Talouma minor</i>	0,9	3,8	0,5	115,1	13,9
<i>Calophyllum antillanum</i>	0,6	64,6	8,1	70,1	237
Total	4573,3	510 584,451	63 823,1	562 533	1 872 142,9

